Partie J : Module FONDSUP

J.1. INTRODUCTION ***3***

J.2. ASPECTS THEORIQUES ***3***

J.2.1. Etats limites d'une fondation superficielle 3

J.2.2. Notations et conventions 3

J.2.3. Portance d'une fondation superficielle 4
J.2.3.1. Principe de vérification 4
J.2.3.2. Surfaces d'assise effective A' 4
J.2.3.3. Contrainte de rupture du terrain (méthode pressiométrique) 5
J.2.3.4. Prise en compte de l'inclinaison de la charge 6
J.2.3.5. Proximité d'un talus 7
J.2.3.6. Combinaison de i_δ et i_β 8

J.2.4. Stabilité au renversement 8

J.2.5. Estimation des tassements par la méthode pressiométrique 8

J.3. MANUEL D'UTILISATION ***10***

J.3.1. Onglet "Paramètres" 10
J.3.1.1. Cadre "Contexte de calcul" 11
J.3.1.2. Cadre "Géométrie de la fondation" 12
J.3.1.3. Cadre "Paramètres d'ancrage" 12
J.3.1.4. Cadre "Proximité d'un talus" 13

J.3.2. Onglet "Couches" 13
J.3.2.1. Cadre "Classification du sol de fondation" 14
J.3.2.2. Cadre "Terrain et profil pressiométrique" 16
J.3.2.3. Importation de données 17

J.3.3. Onglet "Chargement" 19

J.3.4. Calculs et résultats 21
J.3.4.1. Calcul 21
J.3.4.2. Résultats 21

J.4. EXEMPLE DE CALCUL : PORTANCE ET TASSEMENT D'UNE SEMELLE DE FONDATION ***25***

J.4.1. Traitement à l'aide du module Fondsup 25
J.4.1.1. Saisie des données 25
J.4.1.2. Onglet "Paramètres" 27
J.4.1.3. Onglet "Définition du sol" 28
J.4.1.4. Onglet "Chargement" 29
J.4.1.5. Calcul et Résultats 30

J.4.2. Traitement sous TASPLAQ 32
J.4.2.1. Calcul sous chargement ELS-QP 32
J.4.2.2. Calcul sous chargement ELS-CARAC 40
J.4.2.3. Interaction entre deux semelles voisines 41

TABLE DES FIGURES

Figure J.1 : Chargement de la semelle - notations et conventions 3
Figure J.2 : Définition de la surface d'assise effective dans le cas d'une fondation rectangulaire 5
Figure J.3 : Définition de la surface d'assise effective dans le cas d'une fondation circulaire 5
Figure J.4 : Présence d'un talus à proximité de la semelle – notations 7
Figure J.5 : Proximité d'un talus et charge inclinée – conventions de signe 8
Figure J.6 : Définition des modules pour l'estimation des tassements par la méthode pressiométrique 9
Figure J.7 : Onglet "Paramètres"– Exemples de zones de saisie 10
Figure J.8 : Traitement des données par couche 11
Figure J.9 : Traitement des données par mesure 12
Figure J.10 : Figure d'aide : proximité d'un talus 13
Figure J.12 : Cadre règlementaire EC7 - Type de comportement intermédiaire 14
Figure J.13 : Figure d'aide - Classification des sols : diagramme ternaire de classement des sols 14
Figure J.14 : Figure d'aide - Classification des sols : nature des sols cohérents – Teneur en $CaCO_3$ 15
Figure J.15 : Fascicule 62 - Classification des sols 15
Figure J.16 : Assistant rhéologique α 16
Figure J.17 : EC7 – Norme NF.P 94-261 -Choix du coefficient rhéologique du sol 17
Figure J.18 : Assistant d'importation des données 17
Figure J.19 : Assistant de modification de table 18
Figure J.20 : Format de feuille de calcul à importer (cadre règlementaire EC7) 18
Figure J.21 : Format de feuille de calcul à importer (cadre règlementaire Fascicule 62) 18
Figure J.22 : Figure d'aide : Comment remplir les propriétés du chargement 20
Figure J.23 : Fenêtre des résultats 21
Figure J.24 : Résultats formatés 23
Figure J.25 : Tableau des résultats – Cadre règlementaire EC7 24
Figure J.26 : Tableau des résultats – Cadre règlementaire Fascicule 62 24

TABLE DES TABLEAUX

Tableau J.1. : Paramètres pour le calcul du facteur de portance pressiométrique 6
Tableau J.2. : Critères de stabilité au renversement 8
Tableau J.3. : Indications pour le choix du coefficient rhéologique 9
Tableau J.4. : Indications pour le choix des coefficients de forme 9
Tableau J.5. : Géométrie de la fondation 12
Tableau J.6. : Données des couches de sol 16
Tableau J.7. : Données relatives aux cas de charge 20

J.1. Introduction

Le module Fondsup est destiné au dimensionnement géotechnique d'une semelle isolée selon la norme d'application de l'Eurocode 7 pour les fondations superficielles NF P 94 261. Il permet également un dimensionnement selon les anciennes règles du Fascicule 62 - Titre V (conservées uniquement à titre indicatif).

Le dimensionnement est basé sur la prévision de la charge limite Q_l, ainsi que des charges maximales autorisées sous sollicitations ELU et ELS d'une fondation superficielle isolée à partir des résultats d'essais pressiométriques. Il est basé sur les concepts et formulations recommandés par les règlements aux états limites en vigueur en France (actuellement la norme NF P 94 261).

J.2. Aspects théoriques

J.2.1. Etats limites d'une fondation superficielle

La justification d'une fondation superficielle nécessite de vérifier les états limites suivants :

- Etats Limites Ultimes :
  - Stabilité au poinçonnement (portance) ;
  - Stabilité au renversement (limitation de l'excentricité) ;
  - Stabilité au glissement.
- Etats Limites de Service :
  - Stabilité au poinçonnement (limitation de la contrainte au sol) ;
  - Stabilité au renversement (limitation de l'excentricité) ;
  - Vérification des tassements.

Le module Fondsup examine les états limites suivants :

- ELU : portance et renversement ;
- ELS : portance, renversement et tassement.

La stabilité au glissement n'est pas examinée dans la version actuelle du programme.

Le modèle de calcul utilisé est un modèle semi-empirique basé sur les résultats des essais pressiométriques.

J.2.2. Notations et conventions

On désigne par « D » la profondeur d'ancrage de la fondation par rapport au TN (après travaux). On désigne par A la surface d'assise de la fondation, on prend :

- $A = B \times 1$ pour une fondation filante de largeur B ;
- $A = B^2$ pour une fondation carrée de largeur B ;
- $A = B \times L$ pour une fondation rectangulaire de largeur B et de longueur L (L > B) ;
- $A = \pi \times B^2/4$ pour une fondation circulaire de diamètre B.

La fondation est supposée soumise à un torseur d'efforts ($Q_{v,d}$, $Q_{h,d}$, $M_{B,d}$, $M_{L,d}$) exprimé au centre de la base de la fondation selon les conventions de la figure suivante (le tout en valeurs de calcul) :

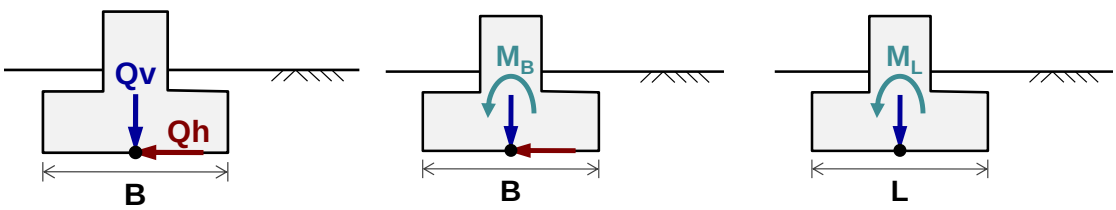


Figure J.1 : Chargement de la semelle - notations et conventions

J.2.3. Portance d'une fondation superficielle

J.2.3.1. Principe de vérification

Selon le formalisme de la norme NF P 94 261, la portance d'une semelle isolée est vérifiée à l'aide de l'inégalité suivante :

$$Q_{v,d} - R_0 \leq R_{v,d}$$

Où :

- $Q_{v,d}$: valeur de calcul de l'effort vertical à reprendre par la fondation ;
- R_0 : poids des terres initial à la base de la fondation (après travaux) ;
- $R_{v,d}$: valeur de calcul de la résistance nette du terrain.

Les valeurs de R_0 et $R_{v,d}$ s'obtiennent comme suit :

$$R_0 = A.q_0 \qquad R_{v,d} = A_{eff} \,.\, q_u / F_{global}$$

Où :

- A surface d'assise de la fondation ;
- A_{eff} surface d'assise effective de la fondation (voir chapitre J.2.3.2) ;
- q_0 poids des terres initial (contrainte) à la base de la fondation (après travaux) ;
- q_u contrainte de rupture du terrain (voir chapitre J.2.3.3) ;
- F_{global} facteur de sécurité global « combiné ».

F_{global} s'exprime comme la combinaison d'un facteur partiel de résistance $\gamma_{R,v}$ et d'un coefficient de modèle $\gamma_{R,d}$:

$$F_{global} = \gamma_{R,d} \times \gamma_{R,v}$$

Pour un dimensionnement basé sur le modèle pressiométrique, F_{global} prend les valeurs suivantes :

- $F_{global} = 1,2 \times 2,3 = 2,76$ à l'ELS permanent et caractéristique ;
- $F_{global} = 1,2 \times 1,4 = 1,68$ à l'ELU fondamental ;
- $F_{global} = 1,2 \times 1,2 = 1,44$ à l'ELU accidentel ;
- $F_{global} = 1,2 \times 1,4 = 1,44$ à l'ELU sismique (NF P 94 261 - tableau 9.8.1).

J.2.3.2. Surfaces d'assise effective A'

Sous un chargement centré ($M_B = M_L = 0$), la surface d'assise effective est prise égale à celle totale. Sous un chargement excentré (M_B et/ou $M_L \neq 0$), on adopte l'approche de Meyerhof qui consiste à définir une surface d'assise réduite A' associée à une contrainte de référence moyenne $q_{réf}$ permettant de garantir l'équilibre des moments et des efforts. La mise en équation de ce modèle conduit aux résultats suivants :

- Fondation rectangulaire : $A' = (B - 2e_B).(L - 2e_L)$ avec $e_B = \frac{M_B}{V}$ et $e_L = \frac{M_L}{V}$
- Fondation circulaire[1]: $A' = \frac{B^2}{2}\left(\arccos\left(\frac{2e}{B}\right) - \frac{2e}{B}\sqrt{1-\left(\frac{2e}{B}\right)^2}\right)$ avec $e = \frac{M_B}{V}$

[1] NF P 94 261 – Annexe Q

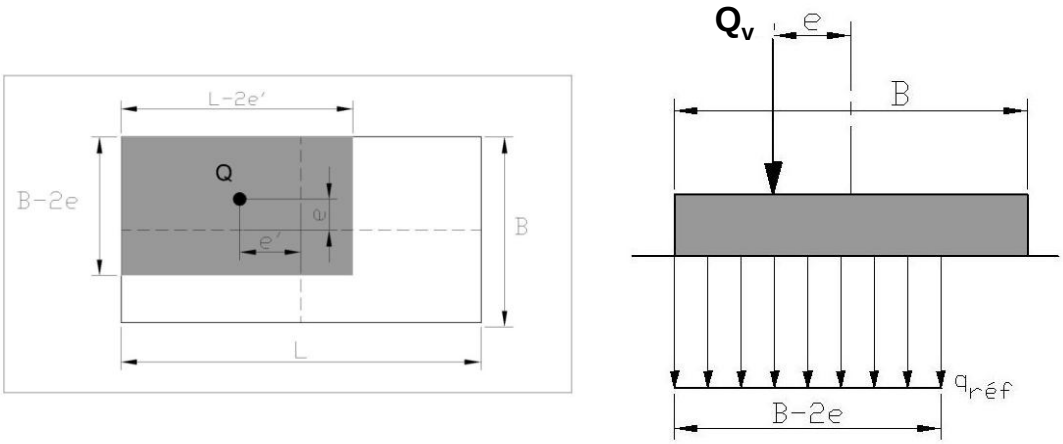


Figure J.2 : Définition de la surface d'assise effective dans le cas d'une fondation rectangulaire

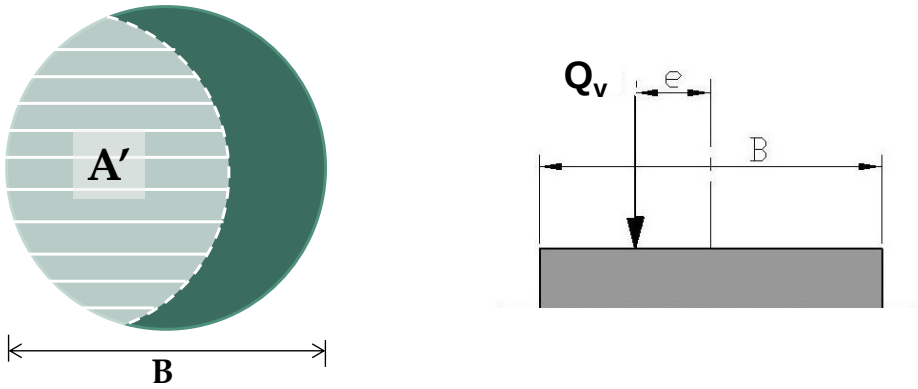


Figure J.3 : Définition de la surface d'assise effective dans le cas d'une fondation circulaire

J.2.3.3. Contrainte de rupture du terrain (méthode pressiométrique)

La contrainte de rupture du terrain q_u s'exprime comme le produit de la pression limite nette équivalente p_{le}^* par un facteur de portance pressiométrique k_p :

$$q_u = k_p p_{le}^*$$

- **Pression limite nette équivalente p_{le}^*** : celle-ci est calculée comme la moyenne géométrique des pressions limites nettes mesurées jusqu'à une profondeur H_r sous la base de la fondation :

$$\log\left(p_{le}^*\right) = \frac{1}{H_r}\int_D^{D+H_r} \log\left(p_l^*(z)\right) dz$$

  La valeur de H_r dépend de la combinaison de chargement et est prise égale à :

  - H_r = 1,50 B à l'ELS (permanent et caractéristique) ;
  - H_r = min (1,50 B, H_{eff}) à l'ELU (fondamental, sismique et accidentel).

  Avec H_{eff} fonction des excentricités du chargement : $e_B = \frac{M_B}{V}$ et $e_L = \frac{M_L}{V}$

  - Fondation filante : $H_{eff} = 3B - 6e_B$
  - Fondation circulaire : $H_{eff} = \frac{8B - 16e_B}{3}$
  - Fondation rectangulaire : $H_{eff} = \min\left(3B - 6e_B ; 3B - 6e_L\right)$

- **Profondeur d'encastrement équivalente D_e** : le calcul du facteur de portance pressiométrique k_p nécessite d'évaluer au préalable la profondeur d'encastrement équivalente de la fondation calculée à l'aide de la relation :

$$D_e = \min\left(D; \frac{1}{p_{le}^*}\int_0^D p_l^*(z)dz\right)$$

Avec p_{le}^* calculée ici pour H_r = 1,5 B.

- **Facteur de portance pressiométrique k_p** : celui-ci s'exprime selon la formule suivante

$$k_p = k_p^1\left(1-\frac{B}{L}\right)+k_p^2\frac{B}{L}$$

Avec k_p^1 et k_p^2 respectivement les facteurs de portance pour semelle filante et carrée dont les valeurs s'obtiennent analytiquement à l'aide de relation :

$$k_p^{1\text{ou}2} = k_{p0}+\left(a+b\frac{D_e}{B}\right).\left(1-e^{-c\frac{D_e}{B}}\right)$$

Les valeurs de k_{p0}, a, b et c sont précisées dans le tableau suivant. La valeur de k_p est plafonnée à partir de D_e/B = 2,0.

Catégorie de sol – Courbe de variation du facteur de portance		Expression de k_p			
		a	b	c	k_{p0}
Argiles et limons	Semelle filante – Q1	0,2	0,02	1,3	0.8
	Semelle carrée – Q2	0,3	0,02	1,5	0.8
Sables et graves	Semelle filante – Q3	0,3	0,05	2	1
	Semelle carrée – Q4	0,22	0,18	5	1
Craies	Semelle filante – Q5	0,28	0,22	2,8	0,8
	Semelle carrée – Q6	0,35	0,31	3	0,8
Marnes et marno-calcaires	Semelle filante – Q7	0,2	0,2	3	0,8
Roches altérées	Semelle carrée – Q8	0,2	0,3	3	0,8

Tableau J.1. : Paramètres pour le calcul du facteur de portance pressiométrique

J.2.3.4. Prise en compte de l'inclinaison de la charge

Le cas d'une charge inclinée ($Q_h \neq 0$) est traité en appliquant un facteur réducteur i_δ sur la contrainte de rupture du terrain q_u :

$$q_u = i_\delta k_p p_{le}^*$$

La valeur de i_δ dépend du caractère frottant/cohérent du sol de fondation ainsi que de l'inclinaison $\delta = \text{atan}(Q_v/Q_h)$ de la résultante de la charge sur la fondation. On distingue trois situations :

- Situation 1 : cas d'un sol de comportement parfaitement cohérent (φ =0) ;
- Situation 2 : cas d'un sol de comportement parfaitement frottant (c =0) ;
- Situation 3 : cas d'un sol de comportement intermédiaire ($c \neq 0$ et $\varphi \neq 0$).

L'expression de i_δ dans les trois situations est donnée ci-après (NF P 94 261) :

- Situation 1 : $$i_\delta = \Phi_1(\delta) = \left(1 - \frac{2\delta}{\pi}\right)^2$$
- Situation 2 : $$i_\delta = \Phi_2(\delta) = \begin{cases} \Phi_1(\delta) - \frac{4\delta}{\pi}\left(1 - \frac{3\delta}{\pi}\right)\exp\left(-\frac{D_e}{B}\right) & \delta \le \frac{\pi}{4} \\ \Phi_1(\delta)\left(1 - \exp\left(-\frac{D_e}{B}\right)\right) & \delta \ge \frac{\pi}{4} \end{cases}$$
- Situation 3 : $$i_\delta = \Phi_2(\delta) + (\Phi_1(\delta) - \Phi_2(\delta))\left(1 - \exp\left(-\frac{0{,}6c}{\gamma B \tan\varphi}\right)\right)$$

Avec γ le poids volumique moyen du sol de fondation.

Nota : Le choix d'un facteur réducteur pour sol cohérent suppose implicitement la pérennité de la cohésion du sol pour les combinaisons de chargement étudiées. Cette hypothèse est donc essentiellement destinée à la justification d'ouvrages pour des situations de calculs transitoires.

J.2.3.5. Proximité d'un talus

La présence d'un talus à proximité d'une fondation chargée verticalement est traitée en appliquant un facteur réducteur i_β sur la contrainte de rupture du terrain q_u :

$$q_u = i_\beta k_p p^*_{le}$$

La valeur de i_β dépend du caractère frottant/cohérent du sol, de la distance « d » entre le bord de la fondation et le talus, ainsi que de la pente « β » de celui-ci. Les formules appliquées sont les suivantes :

- Cas d'un sol cohérent (φ=0) $$i_\beta = \psi_1(\beta) = 1 - \frac{\beta}{\pi}\left(1 - \frac{d}{8B}\right)^2$$
- Cas d'un sol frottant (c=0) $$i_\beta = \psi_2(\beta) = 1 - 0{,}9\tan\beta(2 - \tan\beta)\left(1 - \frac{d + \frac{D_e}{\tan\beta}}{8B}\right)^2$$
- Cas d'un sol intermédiaire $$i_\beta = \psi_2(\beta) + (\psi_1(\beta) - \psi_2(\beta))\left(1 - \exp\left(-\frac{0{,}6c}{\gamma B \tan\varphi}\right)\right)$$

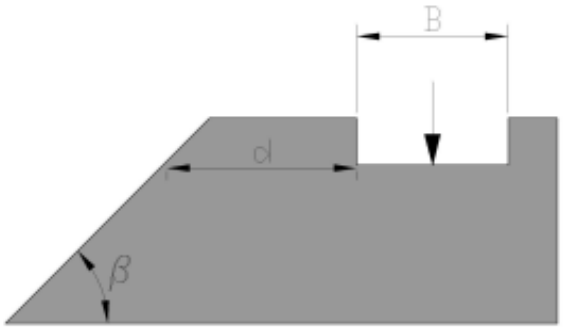


Figure J.4 : Présence d'un talus à proximité de la semelle – notations

Nota : Le choix d'un facteur réducteur pour sol cohérent suppose implicitement la pérennité de la cohésion du sol pour les combinaisons de chargement étudiées. Cette hypothèse est donc essentiellement destinée à la justification d'ouvrages pour des situations de calculs transitoires.

J.2.3.6. Combinaison de i_δ et i_β

On s'intéresse à présent au cas d'une fondation située à proximité d'un talus et soumise à un chargement incliné. Cela est traité en appliquant un facteur réducteur $i_{\delta\beta}$ sur la contrainte de rupture du terrain :

$$q_u = i_{\delta\beta} k_p p^*_{le}$$

Pour le calcul de $i_{\delta\beta}$, on distingue deux situations (voir figure ci-dessous) :

- chargement dirigé vers l'extérieur du talus (δ >0) : $i_{\delta\beta} = i_\delta i_\beta$
- chargement dirigé vers l'intérieur du talus (δ <0) : $i_{\delta\beta} = \min\left(\frac{i_\beta}{i_\delta}, i_\delta\right)$

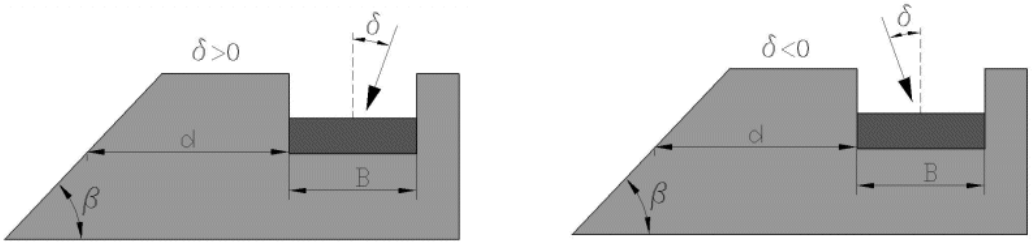


Figure J.5 : Proximité d'un talus et charge inclinée – conventions de signe

J.2.4. Stabilité au renversement

La stabilité au renversement est justifiée en assurant une compression du sol d'assise en sous face de la fondation sur au moins :

- 100% de la surface d'assise totale à l'ELS permanent ;
- 75% de la surface d'assise totale à l'ELS caractéristique ;
- 10% de la surface d'assise totale à l'ELU (fondamental, accidentel et sismique).

Ces seuils peuvent être traduits en critères d'excentricité maximale du chargement. Cela est résumé dans le tableau ci-dessous.

Surface comprimée / Surface d'assise	Fondation filante de largeur B	Fondation circulaire de diamètre B	Fondation rectangulaire de section B x L
= 100%	(1-2e/B) ≥ 2/3	(1-2e/B) ≥ 3/4	$(1-2e_B/B).(1-2e_L/L) \geq 2/3$
≥ 75%	(1-2e/B) ≥ 1/2	(1-2e/B) ≥ 9/16	$(1-2e_B/B).(1-2e_L/L) \geq 1/2$
≥ 10%	(1-2e/B) ≥ 1/15	(1-2e/B) ≥ 3/40	$(1-2e_B/B).(1-2e_L/L) \geq 1/15$

Tableau J.2. : Critères de stabilité au renversement

J.2.5. Estimation des tassements par la méthode pressiométrique

Le tassement sous la semelle peut être estimé sous combinaisons ELS à l'aide de la méthode pressiométrique :

$$s = \frac{q - q_0}{9}\left(\frac{\lambda_c B \alpha}{E_c} + 2\frac{B_0}{E_d}\left(\frac{\lambda_d B}{B_0}\right)^\alpha\right)$$

Où :

- q : contrainte moyenne transmise au sol (Q_v / surface totale d'assise) ;
- q_0 : contrainte verticale totale avant travaux à la base de la fondation ;
- α coefficient rhéologique (voir Tableau J.3) ;
- λ_c et λ_d coefficients correcteurs de forme (voir Tableau J.4) ;

- E_c et E_d respectivement modules pressiométriques équivalents dans les zones sphérique (déformations volumiques) et déviatorique (déformations de cisaillement). Ils sont calculés comme suit :

$$E_c = E_1 \qquad E_d = \frac{1}{\frac{0{,}25}{E_1} + \frac{0{,}30}{E_2} + \frac{0{,}25}{E_{3,5}} + \frac{0{,}10}{E_{6,8}} + \frac{0{,}10}{E_{9,16}}}$$

Avec :

- E_i moyenne harmonique des modules mesurés entre (i-1).B/2 et i.B/2
- $E_{i,j}$ moyenne harmonique des modules mesurés entre (i-1).B/2 et j.B/2

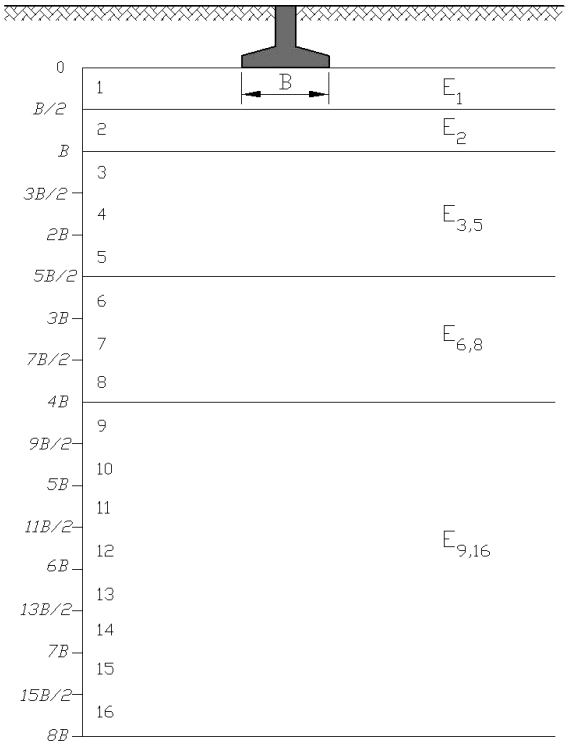


Figure J.6 : Définition des modules pour l'estimation des tassements par la méthode pressiométrique

NATURE DU SOL	Tourbe	Argile		Limon		Sable		Sable et gravier		Type	Roche
	α	E_M/p_l	α	E_M/p_l	α	E_M/p_l	α	E_M/p_l	α		α
Surconsolidé ou très serré	1	> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3	**Très peu Facturé**	2/3
Normalement consolidé		9 à 16	2/3	8 à 14	1/2	7 à 12	1/3	6 à 10	1/4	**Normal**	1/2
Sous consolidé altéré et remanié ou lâche		7 à 9	1/2	5 à 8	1/2	5 à 7	1/3	--		**Très facturé – Très altéré**	1/3 - 2/3

Tableau J.3. : Indications pour le choix du coefficient rhéologique

L/B	Cercle	1	2	3	5	20
λ_c	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
λ_d	1,00	1,12	1,53	1,78	2,14	2,65

Tableau J.4. : Indications pour le choix des coefficients de forme

J.3. Manuel d'utilisation

On présente dans ce chapitre les paramètres nécessaires pour effectuer un calcul Fondsup, ainsi que les résultats fournis par ce module.

La fenêtre du module Fondsup est constituée de 3 onglets. Tous les onglets sont visibles.

Pour effectuer un calcul Fondsup, il est nécessaire de renseigner un certain nombre de paramètres qui seront précisés au fur et à mesure (certaines zones de saisie ne peuvent recevoir que des données ayant une signification physique).

Ce chapitre ne détaille pas l'interface utilisateurs proprement dite et ses manipulations (boutons, menus, etc) : ces aspects sont traités dans la partie C du manuel.

J.3.1. Onglet "Paramètres"

Ce premier onglet comporte quatre cadres distincts.

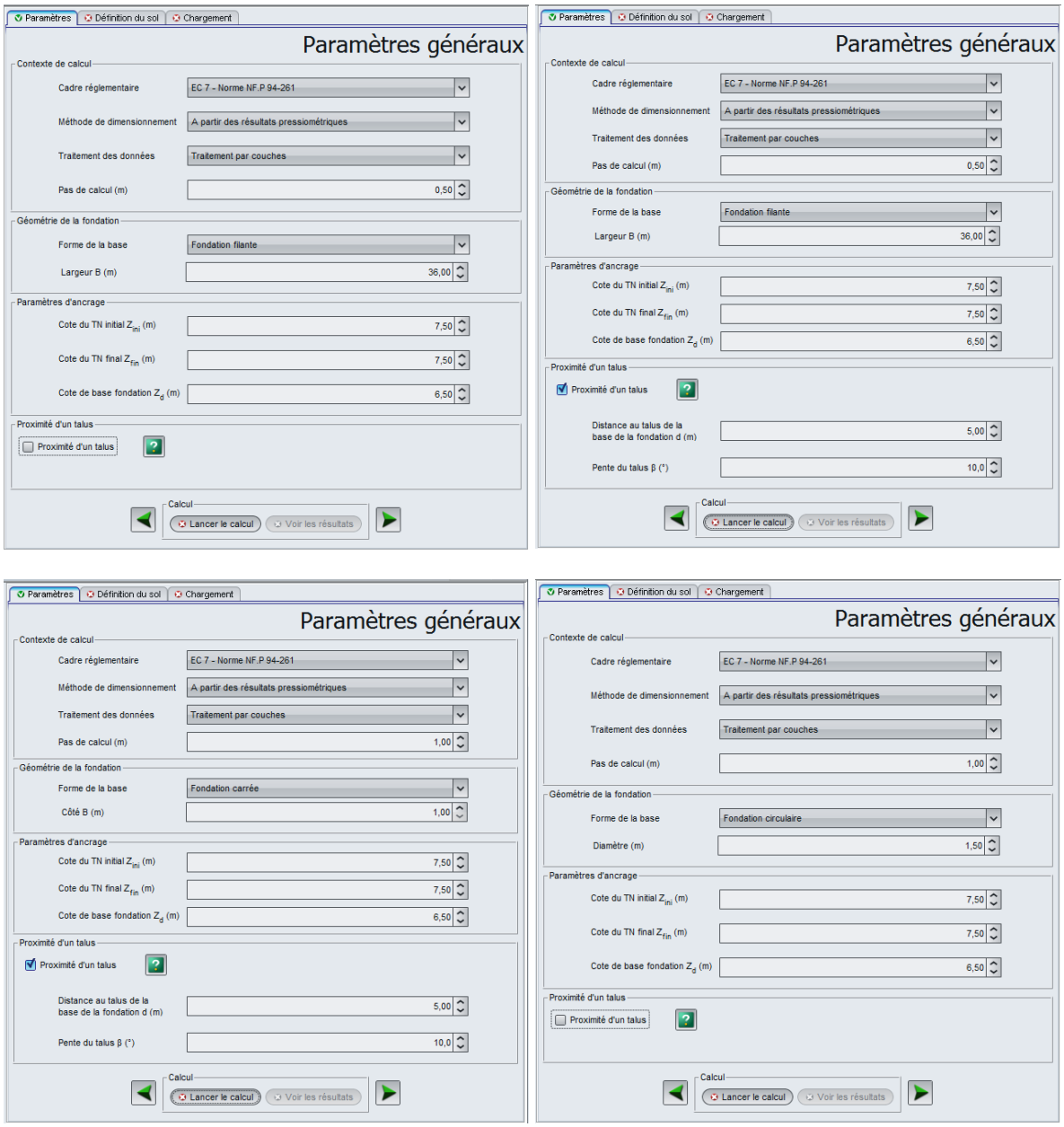


Figure J.7 : Onglet "Paramètres"– Exemples de zones de saisie

Ceux-ci affichent des champs de saisie différents en fonction de :

- la forme de la base dans le cadre "Géométrie de la fondation" ;
- la case à cocher dans le cadre "proximité du talus".

J.3.1.1. Cadre "Contexte de calcul"

J.3.1.1.1. Données à définir dans ce cadre

Ce cadre permet de définir :

- le cadre réglementaire. Les choix possibles sont les suivants :
  - EC7 – Norme NF.P 94-261 (choix proposé par défaut) ;
  - Fascicule 62.
- la méthode de dimensionnement. Les choix possibles sont les suivants :
  - à partir des résultats pressiométriques (choix proposé par défaut) ;
  - à partir des résultats pénétrométriques (méthode bientôt disponible).
- le traitement des données :
  - par couches (choix proposé par défaut) ;
  - par mesures.
- le pas de calcul (m).

J.3.1.1.2. Traitement des données par couches / mesures

Le traitement par couches suppose la définition préalable d'un modèle « géotechnique » avec un jeu de valeurs caractéristiques (E_M, Pl*) supposées homogènes par couche (figure suivante).

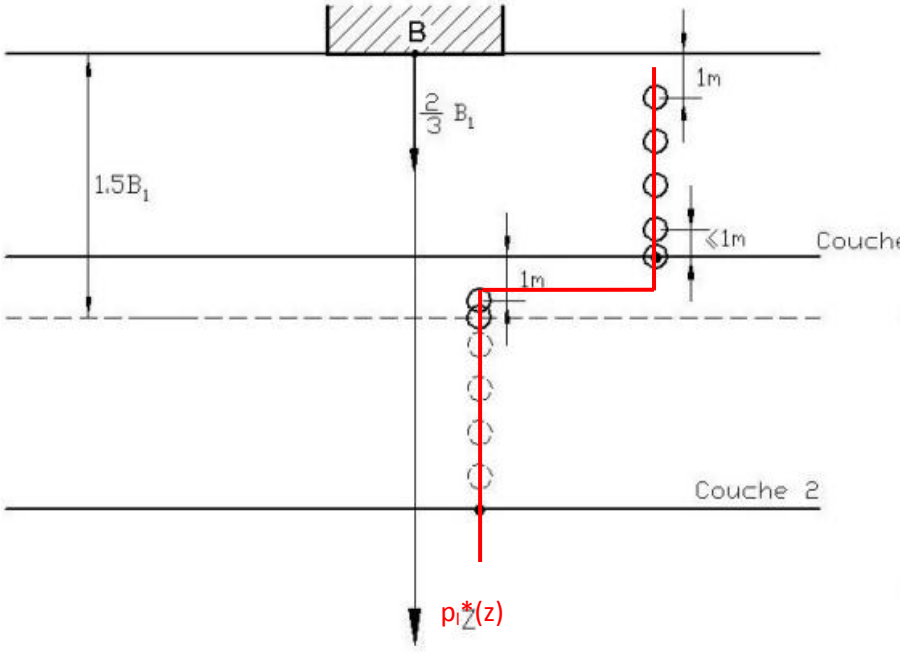


Figure J.8 : Traitement des données par couche

Dans le cas d'un traitement par mesures, la pression limite est obtenue par interpolation entre chaque mesure saisie. Ce fonctionnement est adapté à un calcul basé directement sur les données brutes d'un sondage pressiométrique réalisé au droit de la semelle (avec des mesures tous les mètres par exemple).

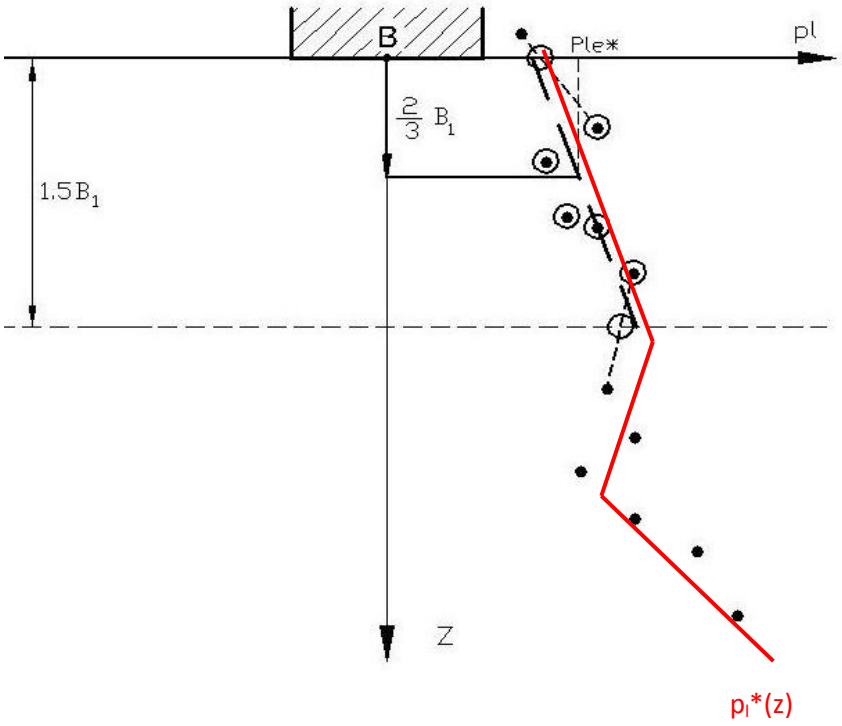


Figure J.9 : Traitement des données par mesure

J.3.1.2. Cadre "Géométrie de la fondation"

Ce cadre permet de définir la forme de la base de la fondation :

- rectangulaire,
- carrée,
- filante,
- ou circulaire.

En fonction du choix effectué, les données à saisir dessous varient :

Forme de la base	Longueur L (m)	Largeur B (m)	Côté B (m)	Largeur B (m)	Diamètre (m)
Rectangulaire	Oui	Oui	Non	Non	Non
Carrée	Non	Non	Oui	Non	Non
Filante	Non	Non	Non	Oui	Non
Circulaire	Non	Non	Non	Non	Oui

Tableau J.5. : Géométrie de la fondation

Nota : dans le cas d'une base rectangulaire, par convention, B doit être inférieur ou égal à L.

J.3.1.3. Cadre "Paramètres d'ancrage"

Ce cadre permet de définir les cotes suivantes :

- la cote du TN initial avant travaux Z_{ini} (m) ;
- la cote du TN final après travaux Z_{fin} (m) ;
- la cote de base de la fondation Z_d (m).

J.3.1.4. Cadre "Proximité d'un talus"

Dans le cas où la fondation se trouve à proximité d'un talus, il convient de cocher la case "Proximité d'un talus". Il est alors nécessaire de compléter les champs de saisie complémentaires suivants :

- la distance d entre la base de la fondation et le talus (m) ;
- la pente du talus β (°).

Une figure d'aide est accessible en cliquant sur le bouton :

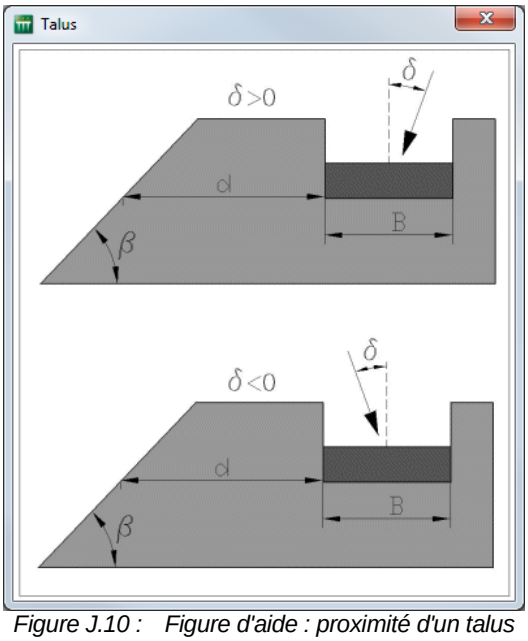


Figure J.10 : Figure d'aide : proximité d'un talus

J.3.2. Onglet "Couches"

Ce deuxième onglet permet la définition des paramètres relatifs au comportement du sol. Le nombre et le type de colonnes varient en fonction du cadre règlementaire et de la méthode de dimensionnement saisis dans l'onglet "Paramètres".

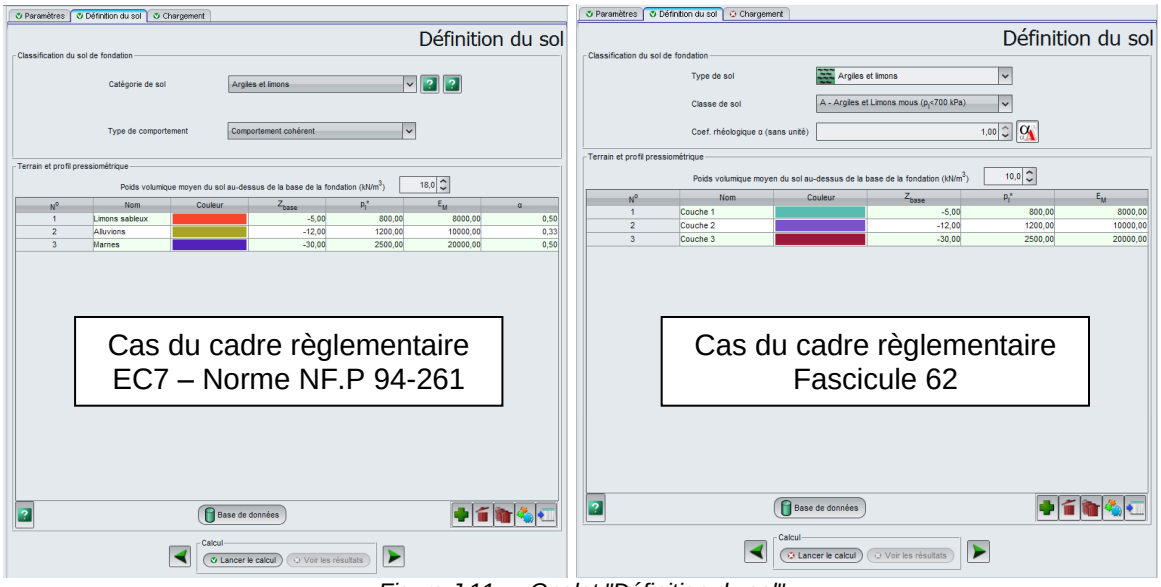


Figure J.11 : Onglet "Définition du sol"

J.3.2.1. Cadre "Classification du sol de fondation"

Il s'agit de définir ici certaines caractéristiques du sol au niveau de la base de la fondation.

J.3.2.1.1. Cas du cadre règlementaire 'EC7 – Norme NF.P 94-261'

Il convient de renseigner 2 listes déroulantes :

- "Catégorie de sol" : 4 choix sont disponibles :
  - ✓ Argiles et limons ;
  - ✓ Sables, graves ;
  - ✓ Craie ;
  - ✓ Marne, roches altérées.
- "Type de comportement" : 3 choix sont disponibles
  - ✓ Frottant (sélectionné par défaut) ;
  - ✓ Cohérent ;
  - ✓ Intermédiaire.

  Dans le cas du type de comportement "intermédiaire", des données supplémentaires sont à compléter :
  - ✓ la cohésion c (kPa) ;
  - ✓ l'angle de frottement (°) ;
  - ✓ le poids volumique net (kN/m^3).

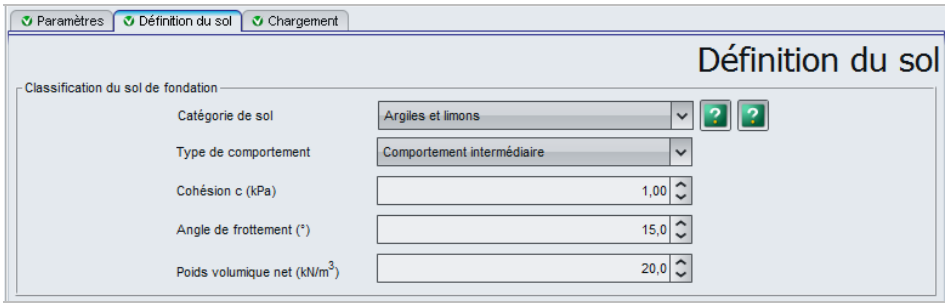


Figure J.12 : Cadre règlementaire EC7 - Type de comportement intermédiaire

Deux figures d'aides sont accessibles par les boutons ? :

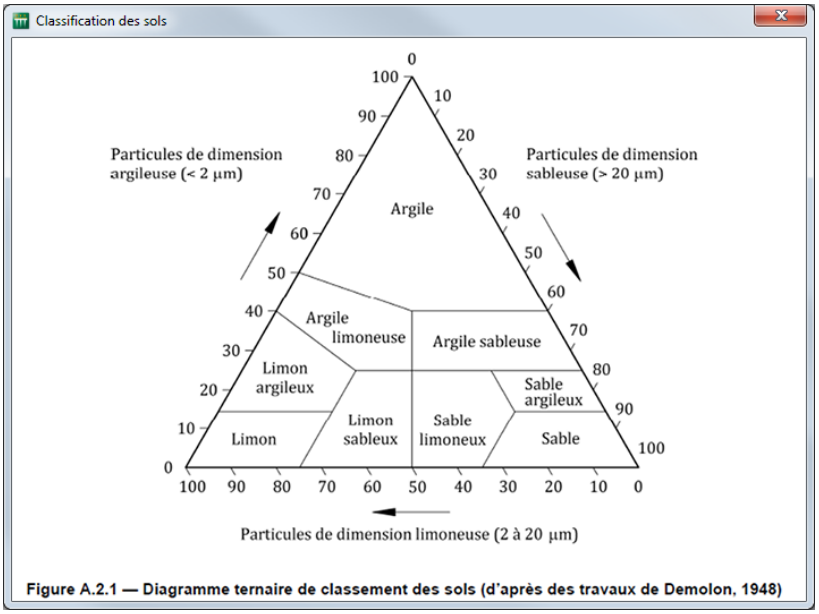


Figure J.13 : Figure d'aide - Classification des sols : diagramme ternaire de classement des sols

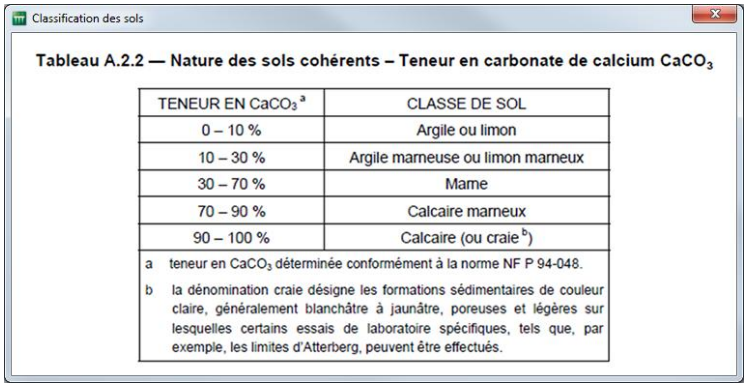
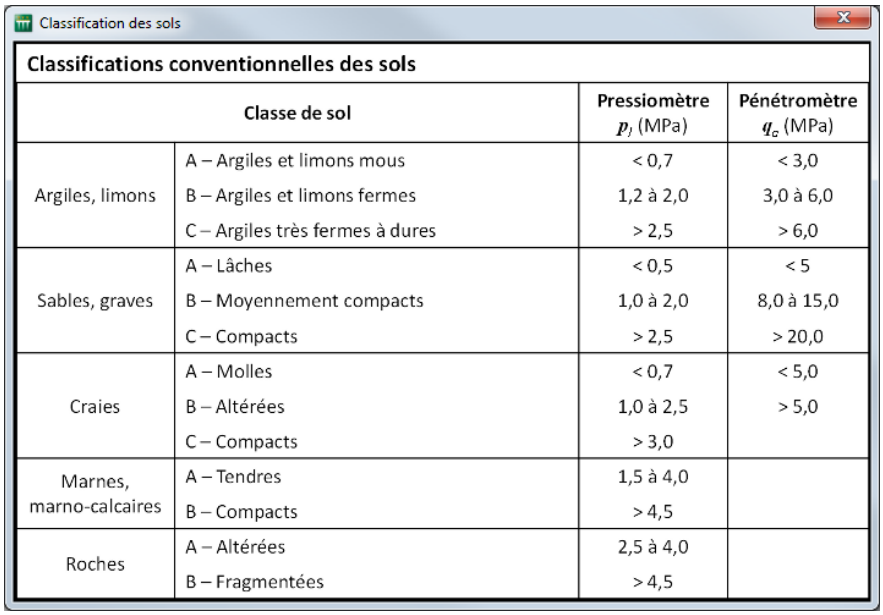

Classification des sols
Tableau A.2.2 — Nature des sols cohérents – Teneur en carbonate de calcium $CaCO_3$
TENEUR EN $CaCO_3$ [a]
CLASSE DE SOL
0 – 10 %
Argile ou limon
10 – 30 %
Argile marneuse ou limon marneux
30 – 70 %
Marne
70 – 90 %
Calcaire marneux
90 – 100 %
Calcaire (ou craie [b])
a teneur en $CaCO_3$ déterminée conformément à la norme NF P 94-048.
b la dénomination craie désigne les formations sédimentaires de couleur claire, généralement blanchâtre à jaunâtre, poreuses et légères sur lesquelles certains essais de laboratoire spécifiques, tels que, par exemple, les limites d'Atterberg, peuvent être effectués.

Figure J.14 : Figure d'aide - Classification des sols : nature des sols cohérents – Teneur en $CaCO_3$

J.3.2.1.2. Cas du cadre règlementaire 'Fascicule 62'

Il convient de renseigner les listes déroulantes suivantes :

- le type de sol :
  - Argiles et limons ;
  - Sables, graves ;
  - Marnes et marno-calcaires ;
  - Craie ;
  - Roches altérées.
- la classe de sol : les différentes classes de sol s'affichent en fonction du type de sol choisi (une figure d'aide est disponible) ;



Classe de sol		Pressiomètre p_l (MPa)	Pénétromètre q_c (MPa)
Argiles, limons	A – Argiles et limons mous	< 0,7	< 3,0
	B – Argiles et limons fermes	1,2 à 2,0	3,0 à 6,0
	C – Argiles très fermes à dures	> 2,5	> 6,0
Sables, graves	A – Lâches	< 0,5	< 5
	B – Moyennement compacts	1,0 à 2,0	8,0 à 15,0
	C – Compacts	> 2,5	> 20,0
Craies	A – Molles	< 0,7	< 5,0
	B – Altérées	1,0 à 2,5	> 5,0
	C – Compacts	> 3,0	
Marnes, marno-calcaires	A – Tendres	1,5 à 4,0	
	B – Compacts	> 4,5	
Roches	A – Altérées	2,5 à 4,0	
	B – Fragmentées	> 4,5	

Figure J.15 : Fascicule 62 - Classification des sols

- le coefficient rhéologique (un assistant est disponible, voir ci-après).

  L'assistant coefficient rhéologique est accessible en cliquant sur le bouton .

  Les valeurs proposées dans la liste déroulante "Etat du sol" varient en fonction du type de sol sélectionné. Le tableau suivant précise les différents choix de types de sol possibles, et les valeurs correspondantes disponibles pour l'état du sol.

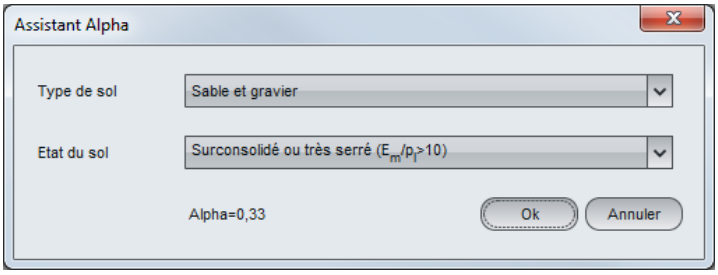


Figure J.16 : Assistant rhéologique α

Le coefficient rhéologique α est calculé automatiquement et affiché dans la fenêtre de l'assistant. Cliquer sur le bouton OK pour transférer la valeur dans votre projet.

J.3.2.2. Cadre "Terrain et profil pressiométrique"

Ce cadre permet de définir les paramètres des différentes couches de sol du projet.

La cote Z_{base} à introduire correspond à la cote de l'essai qui sera assimilée à une limite basse de couche.

Il convient dans un premier temps de saisir le poids volumique moyen du sol au-dessus de la base de la fondation, en kN/m^3. Cette valeur est utilisée pour le calcul de la contrainte initiale à la base de la fondation avant et après travaux, ce qui impacte le calcul du tassement et celui de portance.

Puis, pour ajouter une couche de sol, cliquer sur le bouton .

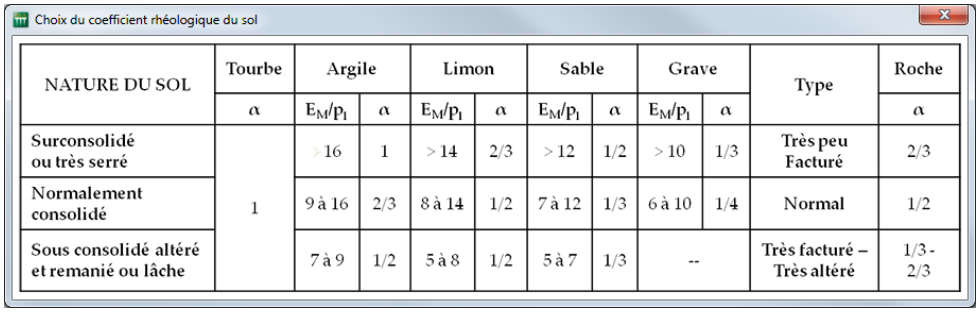
Il faut ensuite compléter le tableau proposé.

Le tableau suivant décrit les paramètres de sol à définir pour chaque couche :

Désignation	**Unité**	**Valeur par défaut**	**Condition d'affichage**	**Valeur obligatoire**	**Contrôles locaux**
Nom de la couche	-	"Couche i"	Toujours	Oui	-
Couleur de la couche	-	Couleur par défaut	Toujours	Oui	-
Z_{base} : cote de la base de la couche	m	1 m sous la cote de la base de la couche sus-jacente	Toujours	Oui	Valeurs strictement décroissantes
P_l^* : pression limite nette de la couche	kPa	0,00	Toujours	Oui	> 0
E_M : module pressiométrique moyen de la couche	kPa	0,00	Toujours	Oui	> 0
α : coefficient rhéologique de Ménard	-	0,00	EC7 – Norme NF.P 94-261	Oui	$0 < \alpha \leq 1$

Tableau J.6. : Données des couches de sol

Dans le cas du cadre règlementaire 'EC7 – Norme NF.P 94-261', une figure d'aide pour le choix du coefficient rhéologique α est disponible :


Choix du coefficient rhéologique du sol

NATURE DU SOL	Tourbe	Argile		Limon		Sable		Grave		Type	Roche
	α	E_M/p_l	α	E_M/p_l	α	E_M/p_l	α	E_M/p_l	α		α
Surconsolidé ou très serré	1	> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3	Très peu Facturé	2/3
Normalement consolidé		9 à 16	2/3	8 à 14	1/2	7 à 12	1/3	6 à 10	1/4	Normal	1/2
Sous consolidé altéré et remanié ou lâche		7 à 9	1/2	5 à 8	1/2	5 à 7	1/3	--		Très facturé – Très altéré	1/3 - 2/3

Figure J.17 : EC7 – Norme NF.P 94-261 -Choix du coefficient rhéologique du sol

J.3.2.3. Importation de données

Le module Fondsup permet d'importer des données de couches de sol depuis le presse-papier Windows®.

J.3.2.3.1. Procédure d'importation des données

Pour importer ces données de "couches" de sol, il convient de procéder de la manière suivante :

- préparer/récupérer une feuille de calcul Excel® comportant les données à importer ;
- ouvrir cette feuille de calcul et copier les données dans le presse-papiers Windows® ;
- ouvrir l'assistant "Modification de la table" et cliquer sur le bouton Importer ;
- dans cet assistant, préciser l'intervalle de lignes à importer. Si la première ligne de la feuille de calcul comporte des entêtes de colonne, elle doit être ignorée par exemple (et l'import doit donc commencer à la ligne 2).

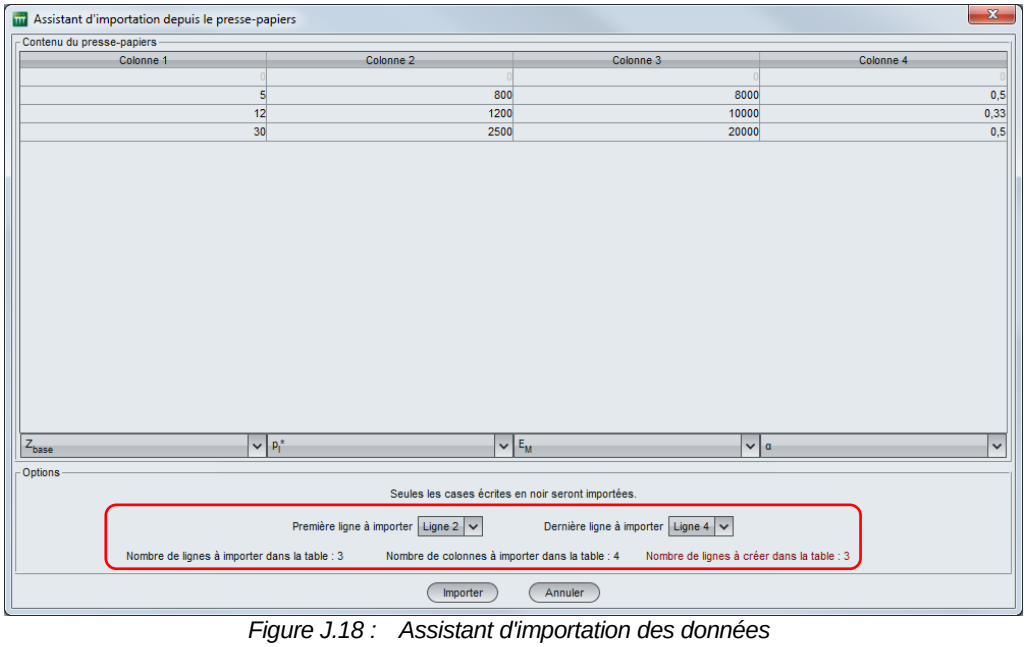


Figure J.18 : Assistant d'importation des données

- cliquer sur le bouton Importer ;
- l'assistant de modification de la table affiche alors les données importées. Cliquer sur le bouton Fermer : les couches de sol importées ont été créées avec un nom par défaut et les valeurs des paramètres telles que renseignées dans la feuille de calcul.

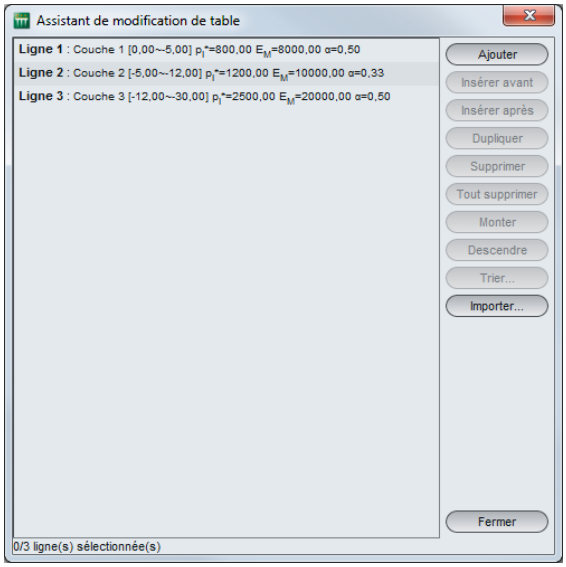


Figure J.19 : Assistant de modification de table

J.3.2.3.2. Format des feuilles de calcul à importer

Ci-dessous les exemples de formats de feuilles de calcul à utiliser.

Pour les deux cas mentionnés ci-dessous, l'impression d'écran illustre les données spécifiques à Fondsup en fonction du cadre règlementaire, en respectant l'ordre indiqué dans l'onglet "Définition du sol" de l'application.

Nota : il n'est pas obligatoire que toutes les colonnes de données soient remplies (mais la donnée de Z_{base}, par contre, est obligatoire).

<u>Cadre règlementaire EC7</u> :

Données importées : Z_{base}, p_{l^*}, E_M et α.

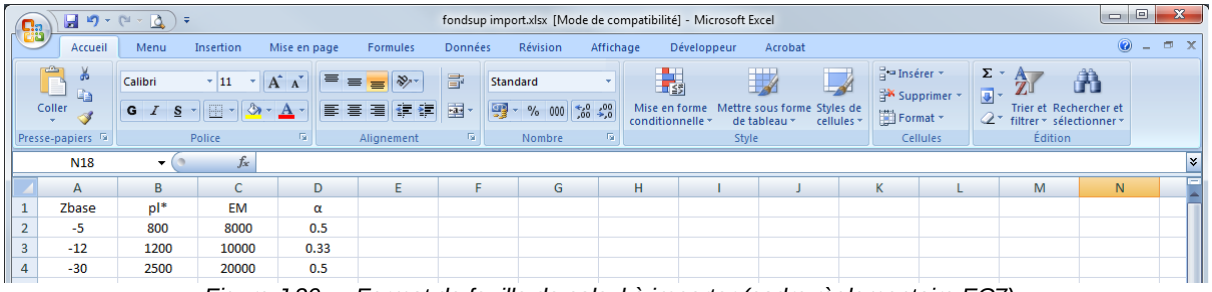

fondsup import.xlsx [Mode de compatibilité] - Microsoft Excel
N18
Zbase pl* EM α
-5 800 8000 0.5
-12 1200 10000 0.33
-30 2500 20000 0.5

Figure J.20 : Format de feuille de calcul à importer (cadre règlementaire EC7)

<u>Cadre règlementaire Fascicule 62</u> :

Données importées : Z_{base}, p_{l^*} et E_M.

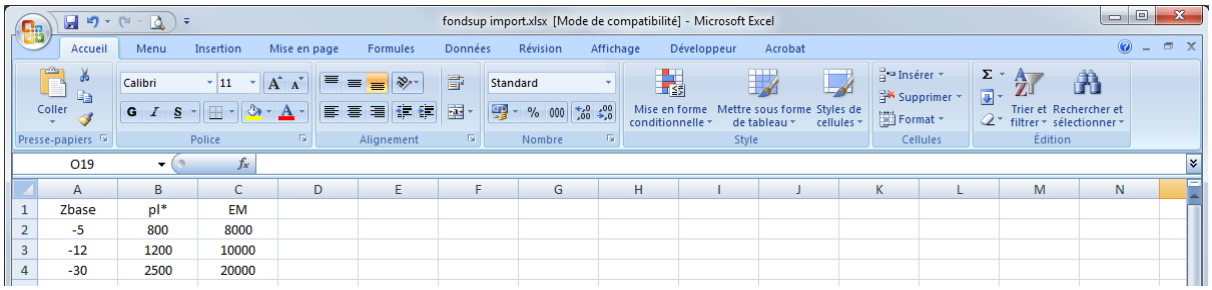


Figure J.21 : Format de feuille de calcul à importer (cadre règlementaire Fascicule 62)

Les contrôles sur les données sont les mêmes que ceux cités dans le Tableau J.8.

Dans certains cas, si les valeurs importées ne correspondent pas aux contrôles (P_l* et E_M strictement positif ou α compris entre 0 exclu et 1 inclus), Fondsup affichera l'onglet en rouge

afin d'avertir l'utilisateur que les données importées ne répondent pas aux valeurs attendues par l'application.

J.3.3. Onglet "Chargement"

Cet onglet permet de saisir les différents cas de charge appliqués à la fondation.

Le torseur des efforts appliqués à la semelle pour chaque cas de charge doit être exprimé au centre de la base de la semelle.

Dans le cas du cadre règlementaire EC7 – Norme NF.P 94-261, il convient de définir s'il s'agit d'un cas de charge défini par (valeurs de calcul) :

- Q_d et δ_d ou
- $Q_{v,d}$ et $Q_{h,d}$;

Dans le cas du cadre règlementaire Fascicule 62, il convient de définir s'il s'agit d'un cas de charge défini par :

- Q et δ ou
- Q_v et Q_h.

Les données à saisir varient en fonction du type de cas de charge choisi, ainsi que du cadre règlementaire. Il est nécessaire de saisir au minimum un cas de charge (avec au moins une valeur d'effort ou moment non nulle).

Pour chaque cas de charge, les valeurs de (Q_d, $M_{B,d}$, $M_{L,d}$, $Q_{v,d}$, $Q_{h,d}$) pour le cadre règlementaire EC7, ou les valeurs de (Q, M_B, et M_L) pour le cadre règlementaire Fascicule 62, doivent respecter les critères suivants :

- pour chaque cas de chargement, la division de M_B (et M_L dans le cas d'une fondation carrée ou rectangulaire) par la résultante verticale de la charge doit être inférieure strictement à la demi-longueur, à la demi-largeur ou au demi-diamètre de la fondation (selon la forme de la fondation).
- pour chaque cas de chargement, soit les valeurs Q, Q_v et Q_h sont non nulles, soit les valeurs M_B ou M_L sont non nulles.

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
Q_d (EC7) ou **Q** (Fascicule 62) : Effort résultant exprimé au centre de la base de la fondation (valeur de calcul)	kN ou kN/ml si fondation filante	0,0	Cas de charge "Avec Q_d et δ_d"	Oui	-
δ_d (EC7) ou **δ** (Fascicule 62) : Inclinaison de la résultante par rapport à la verticale (valeur de calcul)	°	0,0	Cas de charge "Avec Q_d et δ_d"	Oui	-
$Q_{v,d}$ (EC7) ou **Q_v** (Fascicule 62) : Effort vertical résultant exprimé au centre de la base de la fondation (valeur de calcul)	kN ou kN/ml si fondation filante	0,0	Cas de charge "Avec $Q_{v,d}$ et $Q_{h,d}$"	Oui	-

Désignation	Unité	Valeur par défaut	Condition d'affichage	Valeur obligatoire	Contrôles locaux
$Q_{h,d}$ (EC7) ou **Q_h** (Fascicule 62): Effort horizontal résultant exprimé au centre de la base de la fondation (valeur de calcul)	kN ou kN/ml si fondation filante	0,0	Cas de charge "Avec $Q_{v,d}$ et $Q_{h,d}$"	Oui	-
$M_{B,d}$ (EC7) ou **M_B** (Fascicule 62) : Valeur du moment selon la largeur de la fondation, exprimé à la base de la fondation (valeur de calcul)	kN.m ou kN.m/ml si fondation filante	0,0		Oui	-
$M_{L,d}$ (EC7) ou **M_L** (Fascicule 62): Valeur du moment selon la longueur de la fondation, exprimé à la base de la fondation (valeur de calcul)	kN.m	0,0	Forme de fondation carrée ou rectangulaire	Oui	-
Combinaison du cas de charge	-	-	EC7 – Norme NF.P 94-261	Oui (1)	-

Tableau J.7. : Données relatives aux cas de charge

(1) Les combinaisons possibles sont les suivantes :

- ELS – Quasi-permanentes ;
- ELS – Caractéristiques ;
- ELU – Fondamentales ;
- ELU – Accidentelles ;
- ELU - Sismiques.

Une figure d'aide est accessible en cliquant sur le bouton :

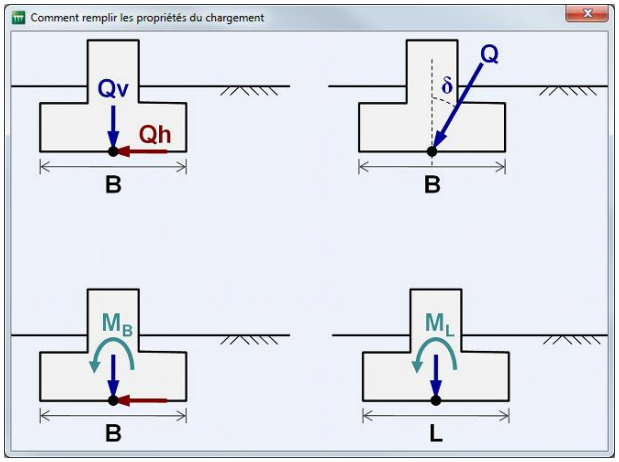


Figure J.22 : Figure d'aide : Comment remplir les propriétés du chargement

J.3.4. Calculs et résultats

J.3.4.1. Calcul

Le calcul peut se lancer depuis n'importe quel onglet à partir du moment où les onglets sont correctement renseignés, c'est-à-dire lorsqu'ils sont tous marqués d'une croix verte (exemple : Couches).

Ceux-ci sont marqués d'une croix rouge (exemple : Couches) tant qu'ils ne sont pas complétés correctement (données manquantes ou non conformes aux valeurs attendues).

Pour lancer le calcul, cliquer sur le bouton Lancer le calcul.

Pour afficher les résultats du calcul, cliquer sur le bouton Voir les résultats.

J.3.4.2. Résultats

La fenêtre ci-dessous permet de choisir le type de résultats à afficher. Fondsup propose des résultats numériques uniquement :

- résultats formatés ;
- tableaux de résultats.

Résultats
Calculé : il y a 1 seconde (Date du calcul : 9 avr. 2014 15:44:19)
Retour aux données
Résultats numériques
Résultats formatés
Tableaux de résultats

Figure J.23 : Fenêtre des résultats

J.3.4.2.1. Résultats numériques formatés

Les résultats numériques formatés contiennent :

- un rappel des données : les options du calcul, les paramètres généraux, les caractéristiques des couches, la géométrie de la fondation, les paramètres d'ancrage, caractéristiques du sol et la classe du sol de la fondation ;
- les valeurs résultats valables pour tous les cas de charge : hauteur d'encastrement équivalente D_e (m) et facteur de portance k_p ;
- pour chaque cas de charge, dans le cas du cadre règlementaire EC7 :
  - un rappel des valeurs de chargement
  - la vérification de la portance et le renversement, avec les valeurs de calcul intermédiaires suivantes :
    - excentricité de la charge selon B (et le cas échéant selon L) (m) ;
    - surface d'assise effective A' (m^2) ;
    - pression limite équivalente p_{le} (kPa) ;
    - hauteur de calcul Hr (m) ;
    - coefficient réducteur idb ($=i_{\delta\beta}$) ;
    - contrainte initiale q_0 à la base de la fondation (kPa) ;
    - contrainte ultime nette q_u (kPa) ;
    - Cadre règlementaire EC7 :
      - le facteur de pondération globale F ;
      - la résultante de la contrainte initiale sous la fondation R_0 (kN) ;
      - la valeur de calcul de l'effort de résistance nette du terrain $R_{v,d}$ (kN) ;
      - la vérification de la portance. Celle-ci est justifiée si la condition suivante est satisfaite : $Q_{v,d} – R_0 < R_{v,d}$
      - la vérification du renversement. Cela consiste à vérifier que la surface « comprimée » sous la semelle demeure supérieure ou égale à :
        - ✓ 100% pour les combinaisons ELS-QP ;
        - ✓ 75% pour les combinaisons ELS-CARAC ;
        - ✓ 10% pour les combinaisons ELU.
    - Cadre règlementaire Fascicule 62 :
      - La contrainte de référence q_{ref} (kPa) ;
      - Pour comparaison : les contraintes admissibles à l'ELU et à l'ELS.
  - le calcul des tassements (uniquement pour les combinaisons ELS-QP dans le cadre règlementaire EC7), avec les valeurs de calcul intermédiaires suivantes :
    - les coefficients de forme lambda_c et lambda_d ;
    - les modules équivalents E_1, E_2, $E_{3,5}$, $E_{6,8}$, $E_{9,16}$ ainsi que les modules E_c et E_d (kPa) ;
    - la contrainte initiale à la base de la fondation s_{v0} (kPa) ;
    - la part volumique du tassement s_c (mm) ;
    - la part déviatorique du tassement s_d (mm) ;
    - le tassement total à 10 ans (mm).

Cas du cadre règlementaire
EC7 – Norme NF.P 94-261

Tout copier | Copier uniquement la sélection

```
Programme FondSup v2.0.8                          (c) TERRASOL 2014

File :  E:\Users\mto\Documents\Foxtav3\Fondsup_Tasplaq\portance et tassement\PORTA

Calcul réalisé le :    30/04/2014  à 17h51
             par :    Terrasol

Paramètres de calcul :
    - calcul basé sur des paramètres issus du pressiomètre de Ménard
    - calcul selon la norme NF P 94 261 - EC7
    - profils de pl* et EM définis par couche

 Base de la fondation Zd           -2.00

 Toit du terrain initial Zini       0.00
 Toit du terrain final Zfin         0.00

 Fondation rectangulaire :
        largeur B                   3.00
        longueur L                  4.00

Caractéristiques du sol (données utilisateur)

    Classe du sol de fondation : Argiles et limons
    Type de comportement       : parfaitement cohérent

    Poids volumique moyen du sol au dessus de Zd    18.00
    Coefficient rheologique du sol de fondation      0.45

    Couche     base         pl*          EM
    ------------------------------------------
      01       -5.00      800.00      8000.00
      02      -12.00     1200.00     10000.00
      03      -30.00     2500.00     20000.00

Discrétisation des couches (Paramètres du calcul)

    Pas du calcul    0.50

couche    point        cote          pl*           EM
-------------------------------------------------------
  01        1           0.00        800.00       8000.00
  01        2          -0.50        800.00       8000.00
  01        3          -1.00        800.00       8000.00
  01        4          -1.50        800.00       8000.00
  01        5          -2.00        800.00       8000.00
  01        6          -2.50        800.00       8000.00
  01        7          -3.00        800.00       8000.00
```

Tout copier | Copier uniquement la sélection

```
                RESULTATS DU CALCUL

Valeurs valables pour tous les cas de charge :

      Hauteur d'encastrement equivalente De        1.75
      Facteur de portance kp                       0.96

==========================================================
   Cas de charge n° :   001  - Combinaison ELS-QP
==========================================================

        Charge verticale V,d      3500.00
        Charge horizontale H,d       0.00
        Moment Mb,d                  0.00
        Moment Ml,d                  0.00

          ---------------------------
            PORTANCE ET RENVERSEMENT
          ---------------------------

   Excentricité de la charge selon B       0.00
   Excentricité de la charge selon L       0.00
   Surface d'assise effective A'          12.00

   Pression limite équiv. Ple            915.77
   Hauteur de calcul Hr                    4.50

   Coefficient réducteur idb               1.00

   Contrainte initiale q0                 36.00
   Contrainte ultime nette qu            883.04
   ------------------------------------------

   Facteur de pondération global F         2.76

   Résultante de la contrainte
   intiale sous la fondation R0          432.00

   Valeur de calcul de l'effort de
   résistance nette du terrain Rv,d     3839.30

   Portance     : V,d - R0 < Rv,d          =>  OK!
   Excentricité : Surface comprimée = 100% =>  OK!

          -------------------------
                TASSEMENTS
          -------------------------

   Coefficients de forme :
        Coefficient Lambda_c               1.13
        Coefficient Lambda_d               1.26

   Modules équivalents :
                  Module E1             8000.00
                  Module E2             8000.00
                  Module E3,5          10000.00
                  Module E6,8          12857.14
                  Module E9,16         20000.00

                  Module Ec             8000.00
                  Module Ed             9387.22

   Contrainte initiale sv0                36.00
   ------------------------------------------

   Tassements (mm):

        Part volumique sc                  5.44
        Part déviatorique sd               8.31
        Tassement total 10 ans            13.75
```

Tout copier | Copier uniquement la sélection

```
          ---------------------------
            CONTRAINTES ADMISSIBLES
          ---------------------------

   Excentricité de la charge selon B       0.17
   Excentricité de la charge selon L       0.17
   Surface d'assise effective A'           9.78

   Pression limite équiv. Ple            915.77
   Hauteur de calcul Hr                    4.50

   Coefficient réducteur idb               0.90

   Contrainte initiale q0                 36.00
   Contrainte ultime nette qu            779.22
   ------------------------------------------

   Contrainte de référence qréf          306.82

   A comparer à :
            Contrainte adm ELU           407.61
            Contrainte adm ELS           283.74

          -------------------------
                TASSEMENTS
          -------------------------

   Coefficients de forme :
        Coefficient Lambda_c               1.13
        Coefficient Lambda_d               1.26

   Modules équivalents :
                  Module E1             8000.00
                  Module E2             8000.00
                  Module E3,5          10000.00
                  Module E6,8          12857.14
                  Module E9,16         20000.00

                  Module Ec             8000.00
                  Module Ed             9148.67

   Contrainte initiale sv0                36.00
   ------------------------------------------

   Tassements (mm):

        Part volumique sc                  5.05
        Part déviatorique sd               7.82
        Tassement total 10 ans            12.87

==========================================================
          Cas de charge n° :    003
==========================================================

        Charge verticale V        4700.00
        Charge horizontale H       400.00
        Moment Mb                  600.00
        Moment Ml :                600.00
```

Cas du cadre règlementaire
Fascicule 62

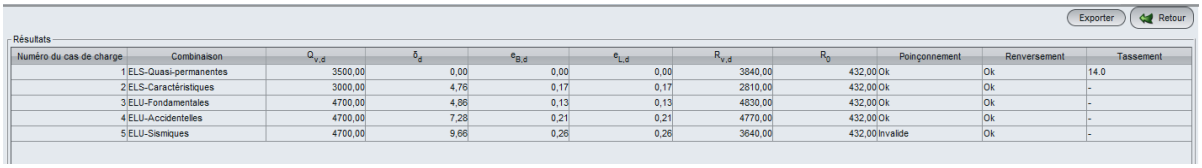
Figure J.24 : Résultats formatés

J.3.4.2.2. Le tableau de résultats

Le tableau des résultats affiche globalement les mêmes résultats que ceux détaillés pour les résultats formatés au chapitre précédent (avec toutefois moins de résultats intermédiaires visibles).

Pour le cadre règlementaire EC7 :

- Le numéro du cas de charge ;
- La combinaison ;
- $Q_{v,d}$: valeur de calcul de la composante verticale de la charge appliquée (kN) ;
- δ_d : valeur de calcul de l'inclinaison de la charge appliquée par rapport à la verticale (°) ;
- $e_{B,d}$: valeur de calcul de l'excentricité de la charge selon B par rapport au centre de la fondation (m) ;
- $e_{L,d}$: valeur de calcul de l'excentricité de la charge selon L par rapport au centre de la fondation (m) ;
- $R_{v,d}$: valeur de calcul de la résistance nette du terrain sous la fondation (kN) ;
- R_0 : valeur du poids du volume de sol situé au-dessus de la base de la fondation après les travaux (kN) ;
- Vérification de la portance (selon la formule indiquée au chapitre précédent) ;
- Vérification du renversement (selon les critères indiqués au chapitre précédent) ;
- Tassement total à 10 ans en mm (calculé uniquement pour les combinaisons de type ELS-QP).

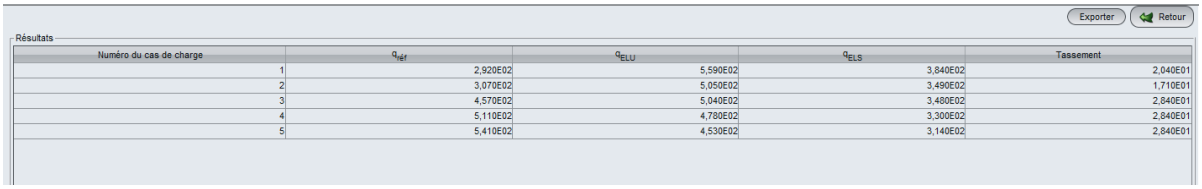

Résultats

Numéro du cas de charge	Combinaison	$Q_{v,d}$	δ_d	$e_{B,d}$	$e_{L,d}$	$R_{v,d}$	R_0	Poinçonnement	Renversement	Tassement
1	ELS-Quasi-permanentes	3500,00	0,00	0,00	0,00	3840,00	432,00	Ok	Ok	14.0
2	ELS-Caractéristiques	3000,00	4,76	0,17	0,17	2810,00	432,00	Ok	Ok	-
3	ELU-Fondamentales	4700,00	4,86	0,13	0,13	4830,00	432,00	Ok	Ok	-
4	ELU-Accidentelles	4700,00	7,28	0,21	0,21	4770,00	432,00	Ok	Ok	-
5	ELU-Sismiques	4700,00	9,66	0,26	0,26	3640,00	432,00	Invalide	Ok	-

Figure J.25 : Tableau des résultats – Cadre règlementaire EC7

Pour le cadre règlementaire Fascicule 62 :

- Le numéro du cas de charge ;
- $q_{réf}$: contrainte de référence sous la fondation (kPa) ;
- q_{ELU} : contrainte admissible à l'ELU (kPa) ;
- q_{ELS} : contrainte admissible à l'ELS (kPa) ;
- Tassement sous $q_{réf}$ en mm.


Résultats

Numéro du cas de charge	$q_{réf}$	q_{ELU}	q_{ELS}	Tassement
1	2,920E02	5,590E02	3,840E02	2,040E01
2	3,070E02	5,050E02	3,490E02	1,710E01
3	4,570E02	5,040E02	3,480E02	2,840E01
4	5,110E02	4,780E02	3,300E02	2,840E01
5	5,410E02	4,530E02	3,140E02	2,840E01

Figure J.26 : Tableau des résultats – Cadre règlementaire Fascicule 62

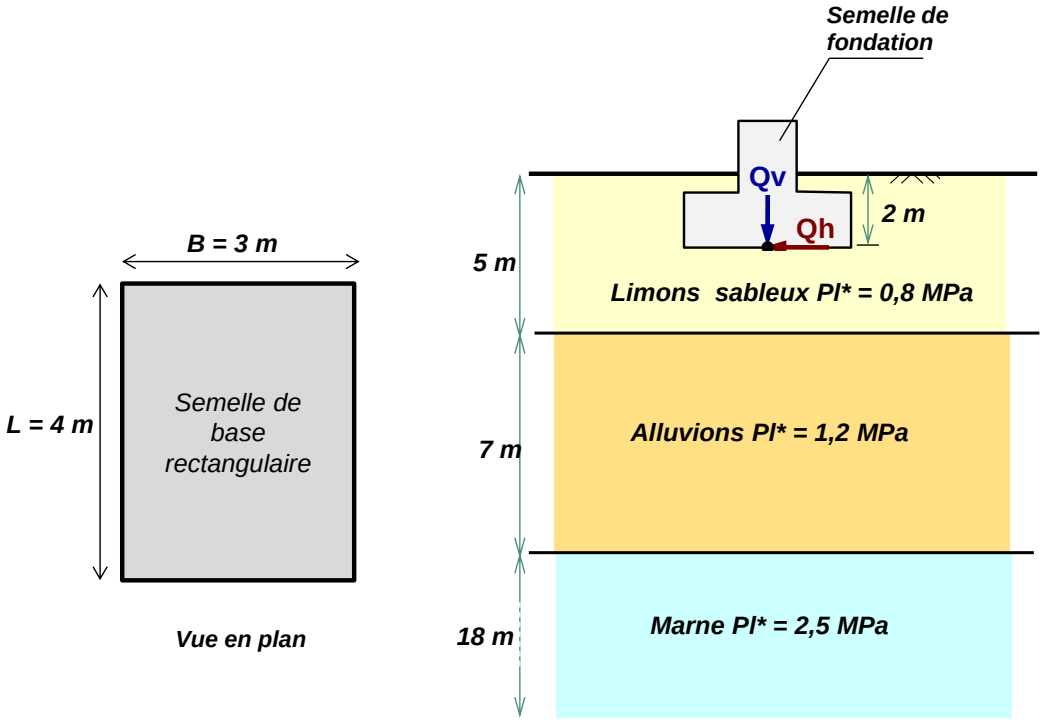
J.4. Exemple de calcul : portance et tassement d'une semelle de fondation

Cet exemple traite le cas d'une fondation superficielle rectangulaire de 3 m x 4 m reposant sur un massif de sol multicouche. Il s'agit de :

- justifier la portance et le renversement de la semelle sous différentes combinaisons de chargement ;
- calculer le tassement sous chargement permanent.

Dans un premier temps, nous utiliserons le module Fondsup, qui permet de répondre aux objectifs de l'exercice par application directe de la norme NF P 94 261, qui est la norme d'application de l'Eurocode 7 pour les fondations superficielles.

Dans un second temps, on utilisera le module TASPLAQ, qui permet, en plus du calcul du tassement, de traiter des situations plus complexes, telles que l'interaction entre semelles voisines ou l'influence d'un remblai voisin.



J.4.1. Traitement à l'aide du module Fondsup

Double-cliquer sur l'icône Foxta pour lancer le programme, choisir le type de connexion et la langue souhaités puis cliquer sur le bouton OK.

J.4.1.1. Saisie des données

A l'ouverture de l'application, Foxta propose :

- de créer un nouveau projet ;
- d'ouvrir un projet existant ;
- d'ouvrir automatiquement le dernier projet utilisé.

Dans le cas de cet exemple :

- choisir de créer un nouveau projet en sélectionnant le radio-bouton Nouveau projet ;
- cliquer sur le bouton OK.

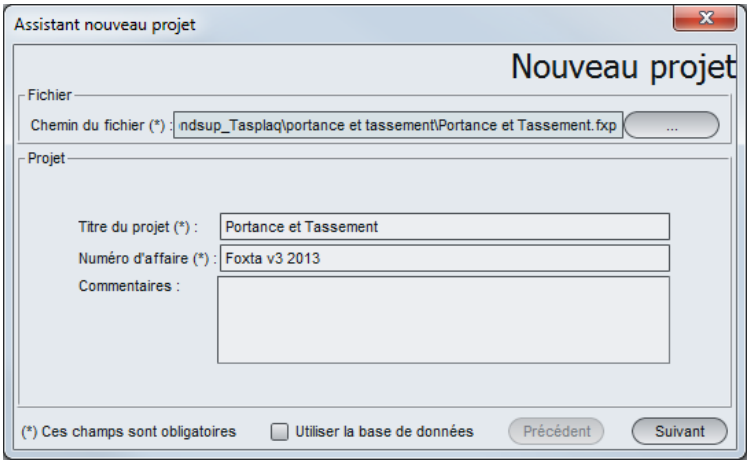
Assistant Nouveau projet

Cadre "Fichier"

- Renseigner le chemin du projet en cliquant sur le bouton ...
- Donner un nom au projet et l'enregistrer.

Cadre "Projet"

- Donner un titre au projet.
- Saisir un numéro d'affaire.
- Compléter avec un commentaire si besoin.
- Laisser la case "Utiliser la base de données" décochée (nous n'utiliserons pas la base de données pour cet exemple), et cliquer sur le bouton Suivant.



Assistant nouveau projet : choix des modules

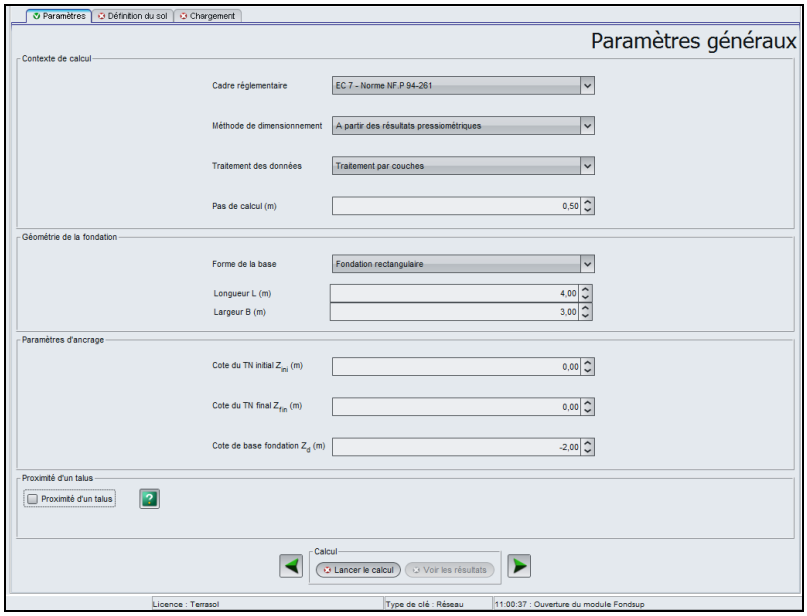
Sélectionner les modules Fondsup et TASPLAQ, puis cliquer sur le bouton Créer.

La fenêtre de saisie des données Tasplaq apparaît alors. Ce module ne sera utilisé qu'en deuxième partie des calculs. Passer dans une premier temps au module Fondsup en cliquant sur l'icône correspondante en haut de la fenêtre à droite

.

J.4.1.2. Onglet "Paramètres"

Cet onglet concerne les paramètres généraux du calcul.



Cadre "Contexte du calcul"

- Cadre réglementaire : EC 7 – Norme NF P 94-261.
- Méthode de dimensionnement : A partir de résultats pressiométriques.
- Traitement des données : Traitement par couches.
- Pas du calcul (m) : 0,50 m.

Nota : Le traitement par couches suppose la définition préalable d'un modèle « géotechnique » avec un jeu de valeurs caractéristiques (E_M, Pl*) supposées homogènes par couche (cf chapitre J.3.1.1.2).

Cadre "Géométrie de la fondation"

- Forme de la base : Fondation rectangulaire.
- Longueur L (m) : 4,00 m.
- Longueur B (m) : 3,00 m.

Cadre "Paramètres d'ancrage"

- Cote du TN initial Z_{ini} (m) : 0,00.
- Cote du TN final Z_{fin} (m) : 0,00.
- Cote de base de fondation Z_d (m) : -2,00.

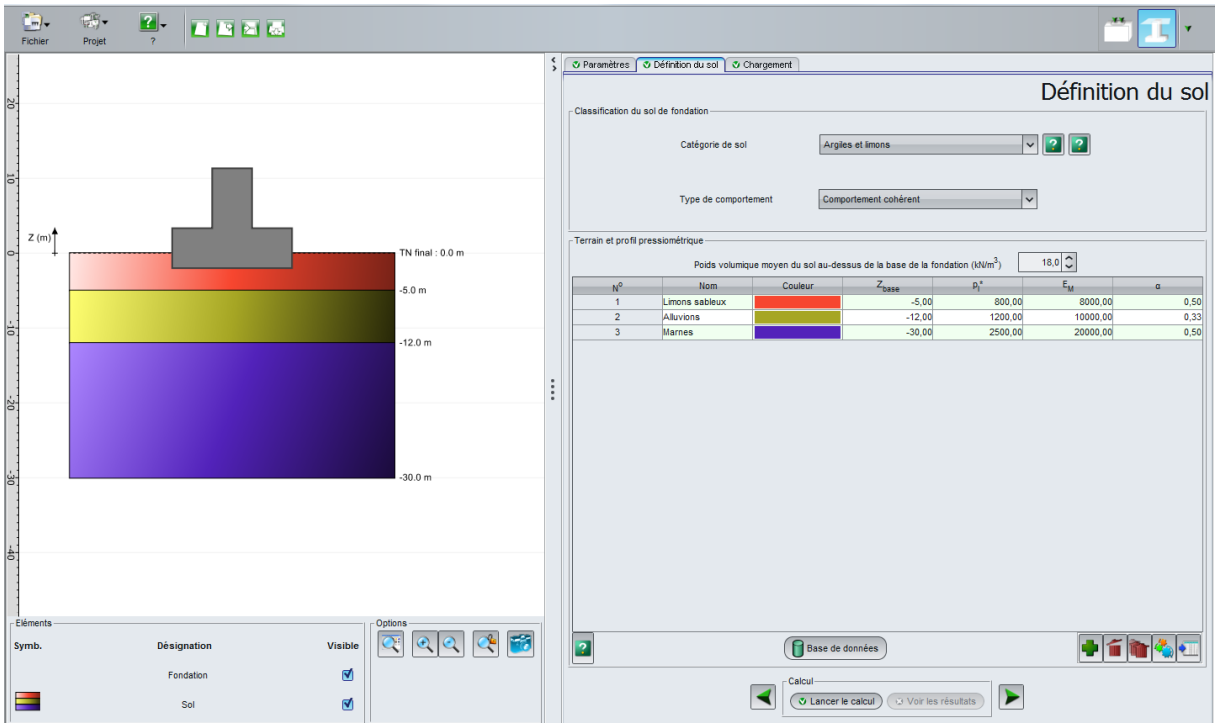
Cadre "Proximité d'un talus"

Il n'y a pas de talus à proximité de la fondation dans cet exemple. Laisser la case correspondante « décochée ».

Pour passer à l'onglet suivant, cliquer soit sur le nom de l'onglet "Définition du sol", soit sur le bouton .

J.4.1.3. Onglet "Définition du sol"

Cet onglet concerne la définition des couches de sol.



Cadre "Classification du sol de fondation"

Il s'agit de renseigner ici la catégorie conventionnelle du sol de fondation. Dans le cas d'un sol hétérogène, il revient à l'utilisateur de choisir la catégorie « dominante » du sol dans lequel est ancrée la fondation. Ce choix impacte le calcul du facteur de portance k_p (ou k_c dans le cas d'un calcul à partir des essais au pénétromètre statique). Dans cet exemple, la catégorie retenue est « Argiles et limons ».

- Catégorie de sol : Argiles et limons
- Type de comportement : Comportement cohérent

Cadre "Terrain et profil pressiométrique"

Dans un premier temps, il est demandé de renseigner la valeur du poids volumique moyen du sol situé au-dessus de la base de la fondation. Cette valeur est utilisée pour le calcul de la contrainte initiale à la base de la fondation avant et après travaux, ce qui impacte le calcul du tassement et celui de portance. Dans cet exemple, la valeur proposée est 18 kN/m^3.

Cliquer ensuite sur le bouton pour créer chacune des couches.

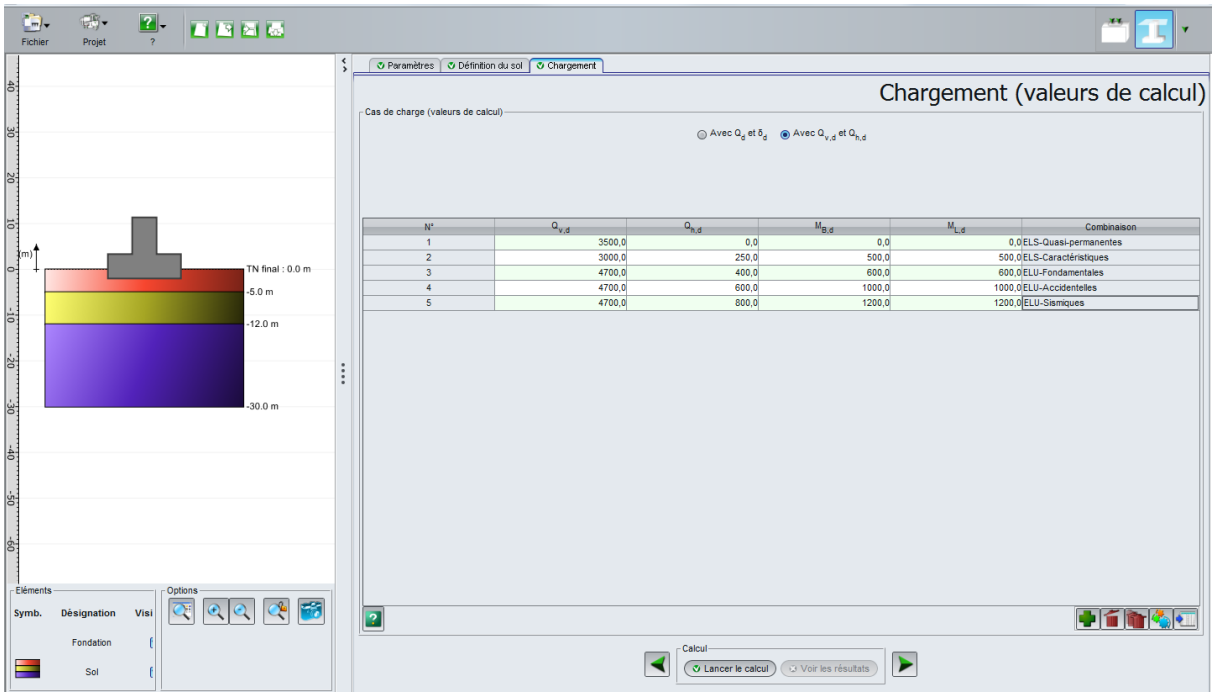
Saisir pour les différentes couches de sol :

- Cote de base de la couche Z_{base} (m).
- Valeur moyenne de la pression limite p_l* (kPa).
- Valeur moyenne du module pressiométrique E_M (kPa).
- Valeur moyenne du coefficient rhéologique α (sans unité).

Nom	Z_{base} (m)	p_l* (kPa)	E_M (kPa)	α (-)
Limons sableux	-5	800	8000	0,50
Alluvions	-12	1200	10000	0,33
Marnes	-30	2500	20000	0,50

J.4.1.4. Onglet "Chargement"

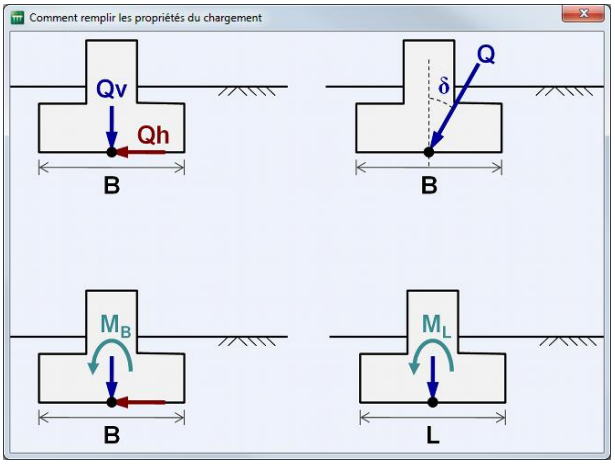
Cet onglet permet de renseigner l'ensemble des cas de chargement sur la semelle.


Fichier
Projet
Paramètres
Définition du sol
Chargement
Chargement (valeurs de calcul)
Cas de charge (valeurs de calcul)
Avec Q_d et δ_d
Avec $Q_{v,d}$ et $Q_{h,d}$
N° | $Q_{v,d}$ | $Q_{h,d}$ | $M_{B,d}$ | $M_{L,d}$ | Combinaison
1 | 3500,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | ELS-Quasi-permanentes
2 | 3000,0 | 250,0 | 500,0 | 500,0 | ELS-Caractéristiques
3 | 4700,0 | 400,0 | 600,0 | 600,0 | ELU-Fondamentales
4 | 4700,0 | 600,0 | 1000,0 | 1000,0 | ELU-Accidentelles
5 | 4700,0 | 800,0 | 1200,0 | 1200,0 | ELU-Sismiques
TN final : 0.0 m
-5.0 m
-12.0 m
-30.0 m
Eléments
Symb.
Désignation
Visi
Fondation
Sol
Options
Calcul
Lancer le calcul
Voir les résultats

Cocher le choix « avec $Q_{v,d}$ et $Q_{h,d}$ » : cela signifie que la résultante appliquée à la semelle doit être décomposée, pour chaque cas de chargement, selon ses composantes verticale et horizontale.

Les charges sont à renseigner en « valeurs de calcul » au sens des Eurocodes. Autrement dit, les charges à entrer sont supposées déjà pondérées.

Attention : le torseur des efforts appliqués à la semelle doit être exprimé au centre de la base de la semelle.



Pour chaque cas de chargement, il convient de renseigner :

- Valeur de calcul de l'effort résultant vertical $Q_{v,d}$ (kN) ;
- Valeur de calcul de l'effort résultant horizontal $Q_{h,d}$ (kN) ;
- Valeur de calcul de l'effort du moment selon B $M_{B,d}$ (kN.m) ;
- Valeur de calcul de l'effort du moment selon L $M_{L,d}$ (kN.m) ;
- Type de la combinaison de calcul : ELS-QP, ELS-CARAC, ELU-FOND, ELU-ACC ou ELU-SISMIQUE.

La première ligne est créée automatiquement par Fondsup. Cliquer sur le bouton pour créer chacun des cas de chargement supplémentaires.

Cas n°	$Q_{v,d}$ (kN)	$Q_{h,d}$ (kN)	$M_{B,d}$ (kN.m)	$M_{L,d}$ (kN.m)	Combinaison
1	3500	0	0	0	ELS-QP
2	3000	250	500	500	ELS-CARAC
3	4700	400	600	600	ELU-FOND
4	4700	600	1000	1000	ELU-ACC
5	4700	800	1200	1200	ELU-SISMIQUE

J.4.1.5. Calcul et Résultats

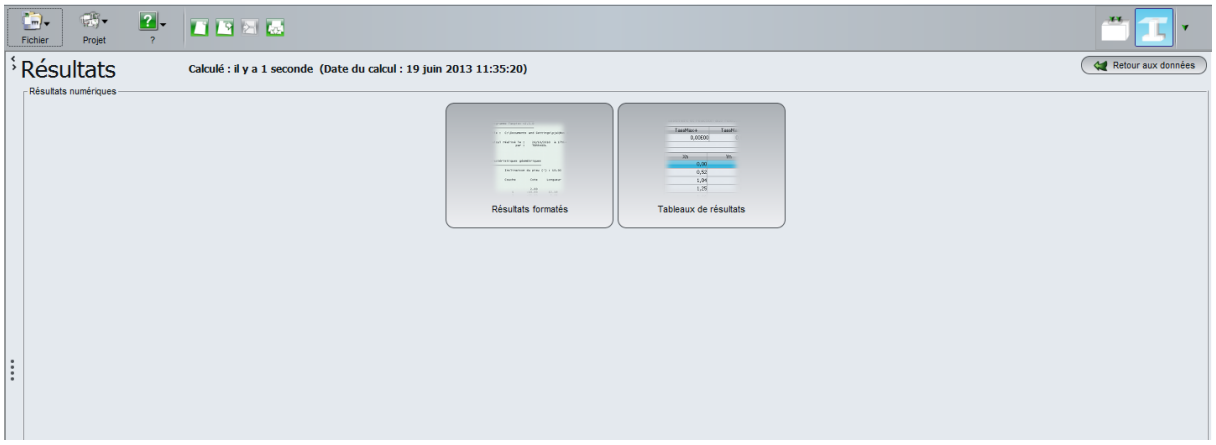
J.4.1.5.1. Calcul

Tant que les onglets ne sont pas tous correctement renseignés, le bouton permettant de lancer le calcul s'affiche marqué d'une croix rouge : Lancer le calcul.

Une fois que toutes les données sont correctement saisies, le bouton Lancer le calcul est alors actif, ce bouton étant accessible depuis tous les onglets. Un clic sur ce bouton lancera le calcul.

J.4.1.5.2. Résultats

Pour accéder aux résultats, cliquer sur le bouton Voir les résultats.



Résultats numériques formatés

Ce fichier rappelle les données du calcul et détaille l'ensemble des paramètres intermédiaires utilisés dans le calcul, selon les règles et conventions du cadre réglementaire choisi (ici la norme NF P 94 261).

Tout copier | Copier uniquement la sélection

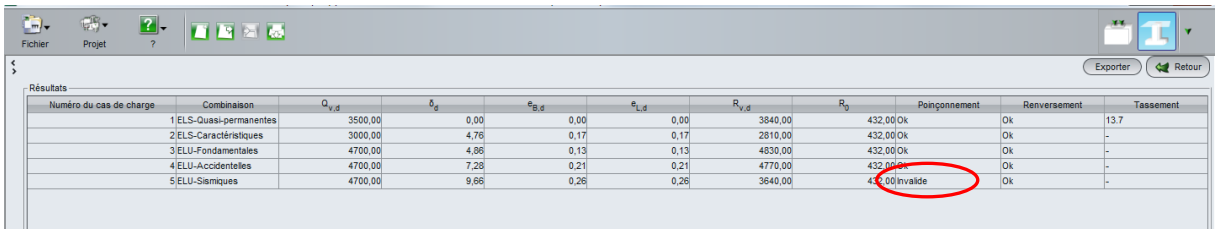
```
Programme FondSup v2.0.8                    (c) TERRASOL 2014

File :  E:\Users\mto\Documents\Foxtav3\Fondsup_Tasplaq\portance et tassement\PORTANCE ET

Calcul réalisé le :    30/04/2014  à 17h51
             par :    Terrasol

Paramètres de calcul :
   - calcul basé sur des paramètres issus du pressiomètre de Ménard
   - calcul selon la norme NF P 94 261 - EC7
   - profils de pl* et EM définis par couche

Base de la fondation Zd          -2.00

Toit du terrain initial Zini      0.00
Toit du terrain final Zfin        0.00

Fondation rectangulaire :
        largeur B                 3.00
        longueur L                4.00

Caractéristiques du sol (données utilisateur)

   Classe du sol de fondation : Argiles et limons
   Type de comportement       : parfaitement cohérent

   Poids volumique moyen du sol au dessus de Zd    18.00
   Coefficient rheologique du sol de fondation      0.45

   Couche     base         pl*          EM
   ------------------------------------------
     01       -5.00      800.00       8000.00
     02      -12.00     1200.00      10000.00
     03      -30.00     2500.00      20000.00

Discrétisation des couches (Paramètres du calcul)

   Pas du calcul    0.50

couche    point       cote          pl*          EM
-------------------------------------------------------
  01        1          0.00        800.00       8000.00
  01        2         -0.50        800.00       8000.00
  01        3         -1.00        800.00       8000.00
  01        4         -1.50        800.00       8000.00
  01        5         -2.00        800.00       8000.00
  01        6         -2.50        800.00       8000.00
  01        7         -3.00        800.00       8000.00
```

Tout copier | Copier uniquement la sélection

```
   Surface d'assise effective A'          9.20

   Pression limite équiv. Ple           915.77
   Hauteur de calcul Hr                   4.50

   Coefficient réducteur idb              0.84

   Contrainte initiale q0                36.00
   Contrainte ultime nette qu           746.05

   Facteur de pondération global F        1.44

   Résultante de la contrainte
   intiale sous la fondation R0         432.00

   Valeur de calcul de l'effort de
   résistance nette du terrain Rv,d    4767.65

   Portance     : V,d - R0 < Rv,d        =>  OK!
   Excentricité : Surface comprimée > 10%  =>  OK!

=========================================================
   Cas de charge n° :   005  - Combinaison ELU-SISM
=========================================================

        Charge verticale V,d      4700.00
        Charge horizontale H,d     800.00
        Moment Mb,d               1200.00
        Moment Ml,d               1200.00

          ---------------------------
            PORTANCE ET RENVERSEMENT
          ---------------------------

   Excentricité de la charge selon B      0.26
   Excentricité de la charge selon L      0.26
   Surface d'assise effective A'          8.69

   Pression limite équiv. Ple           915.77
   Hauteur de calcul Hr                   4.50

   Coefficient réducteur idb              0.80

   Contrainte initiale q0                36.00
   Contrainte ultime nette qu           703.65

   Facteur de pondération global F        1.68

   Résultante de la contrainte
   intiale sous la fondation R0         432.00

   Valeur de calcul de l'effort de
   résistance nette du terrain Rv,d    3638.18

   Portance     : V,d - R0 > Rv,d        =>  Non justifiée!
   Excentricité : Surface comprimée > 10%  =>  OK!
```

Tableaux de résultats

Ce tableau fournit un récapitulatif des principaux résultats du calcul à retenir pour le dimensionnement de la semelle.



Numéro du cas de charge	Combinaison	$Q_{v,d}$	δ_d	$e_{B,d}$	$e_{L,d}$	$R_{v,d}$	R_0	Poinçonnement	Renversement	Tassement
1	ELS-Quasi-permanentes	3500,00	0,00	0,00	0,00	3840,00	432,00	Ok	Ok	13.7
2	ELS-Caractéristiques	3000,00	4,76	0,17	0,17	2810,00	432,00	Ok	Ok	-
3	ELU-Fondamentales	4700,00	4,86	0,13	0,13	4830,00	432,00	Ok	Ok	-
4	ELU-Accidentelles	4700,00	7,28	0,21	0,21	4770,00	432,00	Ok	Ok	-
5	ELU-Sismiques	4700,00	9,66	0,26	0,26	3640,00	43[illegible]2,00	Invalide	Ok	-

Dans cet exemple, nous pouvons retenir les résultats suivants :

- ⇨ Tassement de 13,7 mm sous charge ELS-QP ;
- ⇨ Renversement justifié pour tous les cas de chargement ;
- ⇨ Portance justifiée pour les cas de chargement 1 à 4.
- ⇨ Pour le cas n°5, la portance n'est pas justifiée (résistance du terrain insuffisante).

Le résultat obtenu pour le cas de chargement 5 conduit à proposer une augmentation :

- ⇨ des dimensions de la semelle ;
- ⇨ et/ou de la profondeur d'ancrage.

J.4.2. Traitement sous TASPLAQ

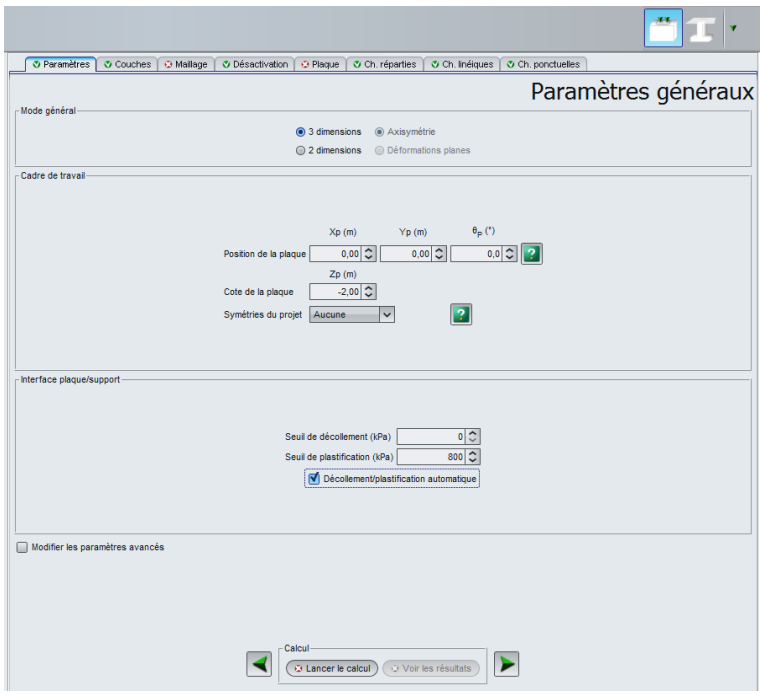
On se propose à présent de reconduire le calcul précédent pour les combinaisons ELS-QP et ELS-CARAC à l'aide du module TASPLAQ.

Ouvrir le module TASPLAQ en cliquant sur le bouton

J.4.2.1. Calcul sous chargement ELS-QP

J.4.2.1.1. Onglet "Paramètres"

Saisir les données indiquées sur la copie d'écran ci-dessous.



Cadre "Mode général" :

Le modèle étudié étant tri-dimensionnel,

- Cliquer sur le radio-bouton "3 dimensions".

Cadre "Cadre de travail" :

Dans cet exemple, le repère local de la plaque représentative de la semelle est pris identique au repère global du modèle. Le point (0,0) représente le coin "bas – gauche" du modèle.

- Position de la plaque :

X_p (m)	Y_p (m)	θ_p (°)
0,00	0,00	0,00

- Cote de la plaque : Z_p (m) = -2,00 (cote de référence = cote de la base de la semelle).
- Symétrie de projet : Aucune

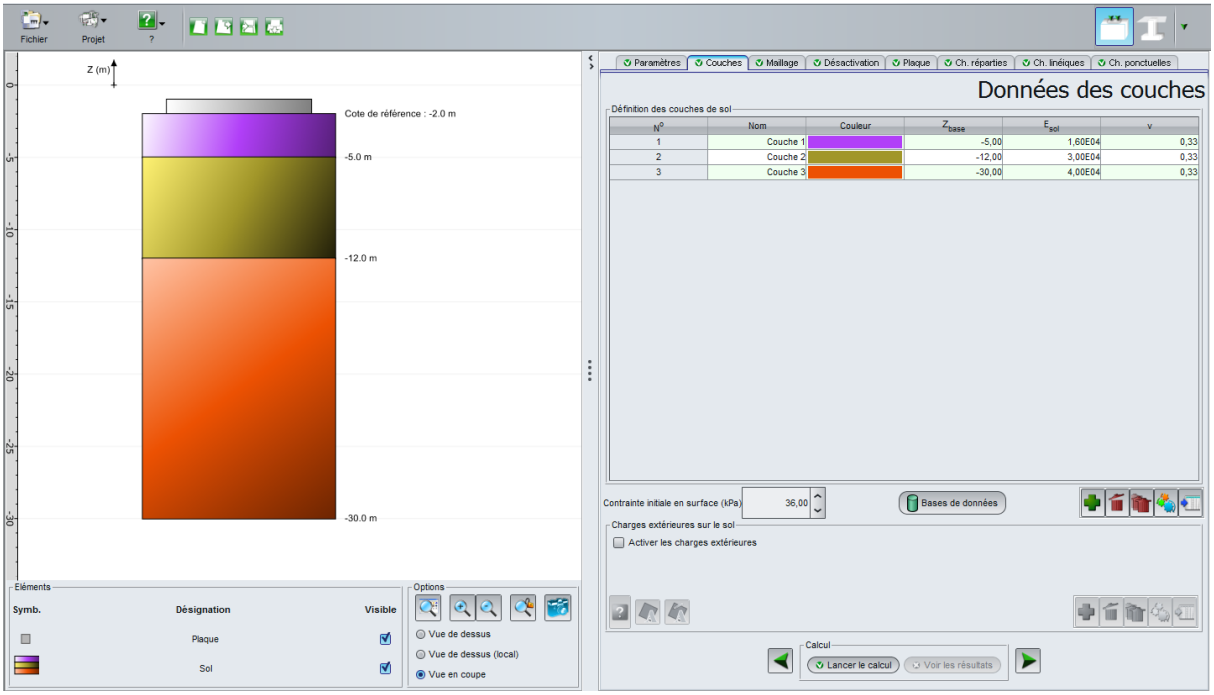
Cadre "Interface plaque/support" :

Ce cadre permet d'activer la gestion automatique des critères de décollement et de plastification à l'aide de critères définis par l'utilisateur. Les valeurs suivantes sont proposées.

Seuil de décollement (kPa)	0
Seuil de plastification (kPa)	800
Décollement/plastification automatique	Cochée

Pour passer à l'onglet suivant, cliquer soit sur le nom de l'onglet "Couches", soit sur le bouton .

J.4.2.1.2. Onglet "Couches"



Cadre "Définition des couches de sol" :

Cliquer sur le bouton pour créer chacune des couches de sol.

Les données à saisir sont précisées ci-dessous. Les modules de déformation proposés ont été choisis à partir de la corrélation $E = k \times E_M/\alpha$, avec k =1 en première approche. L'objet de cette partie de l'exercice est justement d'ajuster la valeur de « k » de manière à avoir des tassements comparables à ceux calculés précédemment à l'aide du module Fondsup.

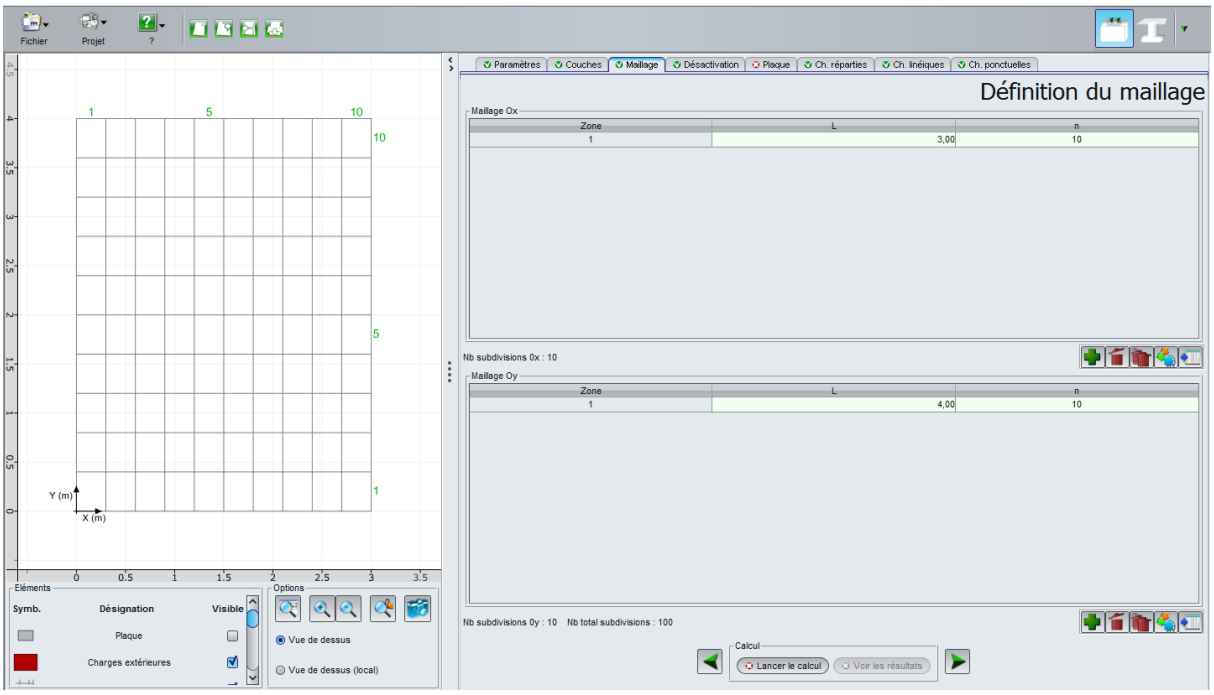
Nom	**Z_{base} (m)**	**E_{sol} (kPa)**	**ν**
Couche 1	-5,0	1,60E+04	0,33
Couche 2	-12,0	3,00E+04	0,33
Couche 3	-30,0	4,00E+04	0,33

- Contrainte initiale en surface : 36 kPa (correspondant au poids volumique du sol de 18 kN/m^3 au dessus de la base de la fondation).

Cadre "Charge extérieure sur le sol" :

- Activer les charges extérieures : décochée.

J.4.2.1.3. Onglet "Maillage"



Cadre "Maillage Ox" :

Saisir le maillage en indiquant la longueur et le nombre de subdivisions de chaque zone : on propose ici un maillage régulier par des éléments de 0,3 m de largeur.

Zone	L (m)	N
1	3,00	10

Cadre Maillage Oy :

Saisir le maillage en indiquant la longueur et le nombre de subdivisions de chaque zone : on propose dans cette direction un maillage régulier par des éléments de 0,4 m de largeur.

Zone	L (m)	N
1	4,00	10

J.4.2.1.4. Onglet "Désactivation"

Dans cet exemple, il n'y a pas d'élément à désactiver, la plaque représentative de la semelle est pleine et rectangulaire.

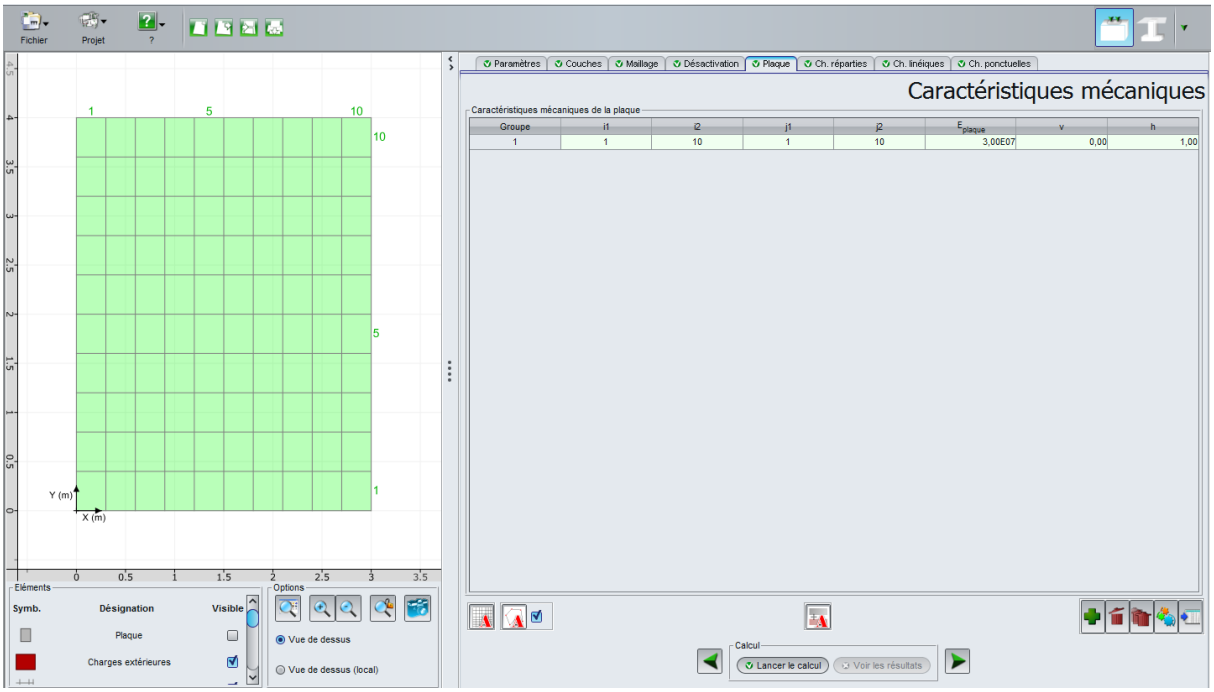
J.4.2.1.5. Onglet "Plaque"

Dans cet exemple, on ne modélise que la base de la semelle, qui est homogène et continue. Pour définir ses caractéristiques, il suffit donc de définir une seule zone couvrant tout le

*Edition avril 2014 - **Copyright © Foxta v3 - 2011***

modèle : soit de i1 = 1 à i2 = 10 selon Ox et de j1 = 1 à j2 = 10 selon Oy, conformément aux découpages effectués précédemment.

Nota : i1, i2 (indiqués en haut) correspondent aux indices des éléments selon Ox / j1, j2 (indiqués à droite) correspondent aux indices des éléments selon Oy. A ne pas confondre avec les coordonnées (x, y) indiquées respectivement en bas et à gauche de la plaque.



Cadre "Caractéristiques mécaniques de la plaque" :

La base de la semelle est supposée d'épaisseur 1 m.

Groupe	i1	i2	j1	j2	E_{plaque} (kPa)	ν	h (m)
1	1	10	1	10	3,00E+07	0,00	1,00

Le choix d'un coefficient de Poisson nul s'explique par l'hypothèse d'une semelle constituée de béton armé. En réalité, comme seul le calcul des déplacements nous intéresse ici, le choix de la valeur du coefficient de Poisson a peu d'incidence sur le résultat.

J.4.2.1.6. Onglet "Charges Réparties"

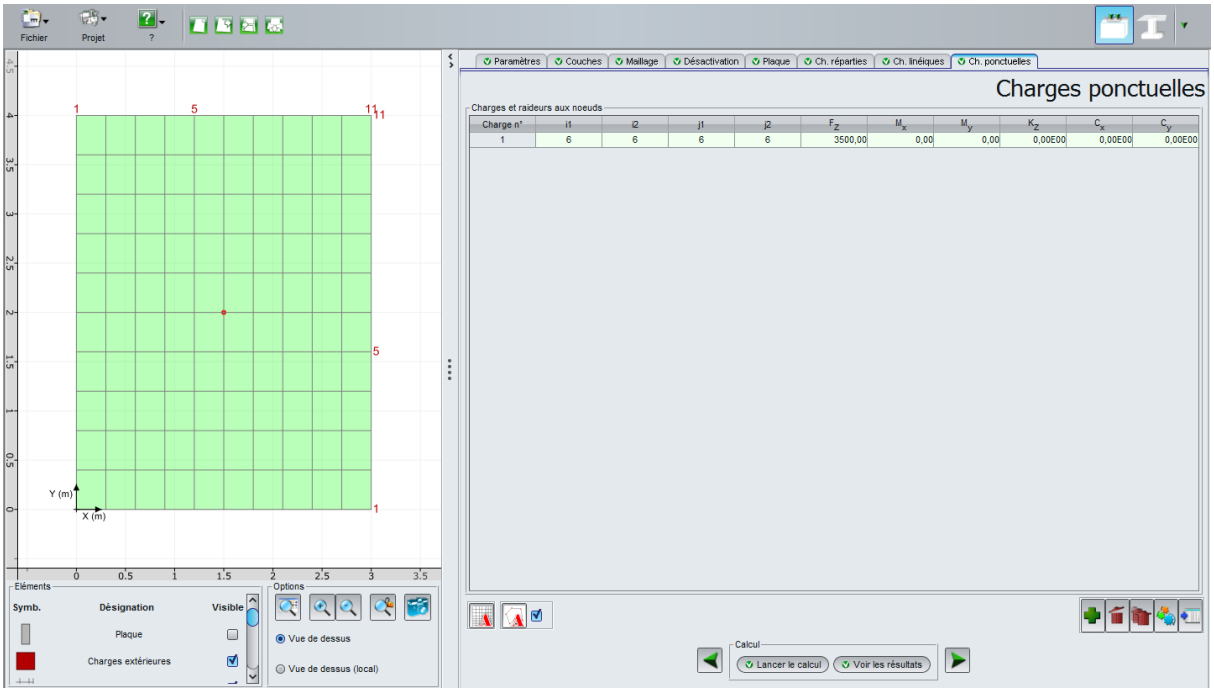
Il n'y a pas de charges réparties à définir dans cette étape.

J.4.2.1.7. Onglet "Charges linéiques"

Il n'y a pas de charges linéiques à définir dans cette étape.

J.4.2.1.8. Onglet "Charges ponctuelles"

On définit ici la charge verticale supportée par la semelle : Fz = 3500 kN (combinaison ELS-QP). Celle-ci est à appliquer au niveau du nœud central, soit i1=i2=6 et j1=j2=6 selon la numérotation des nœuds proposée pour chaque direction (au-dessus et à droite du graphique).



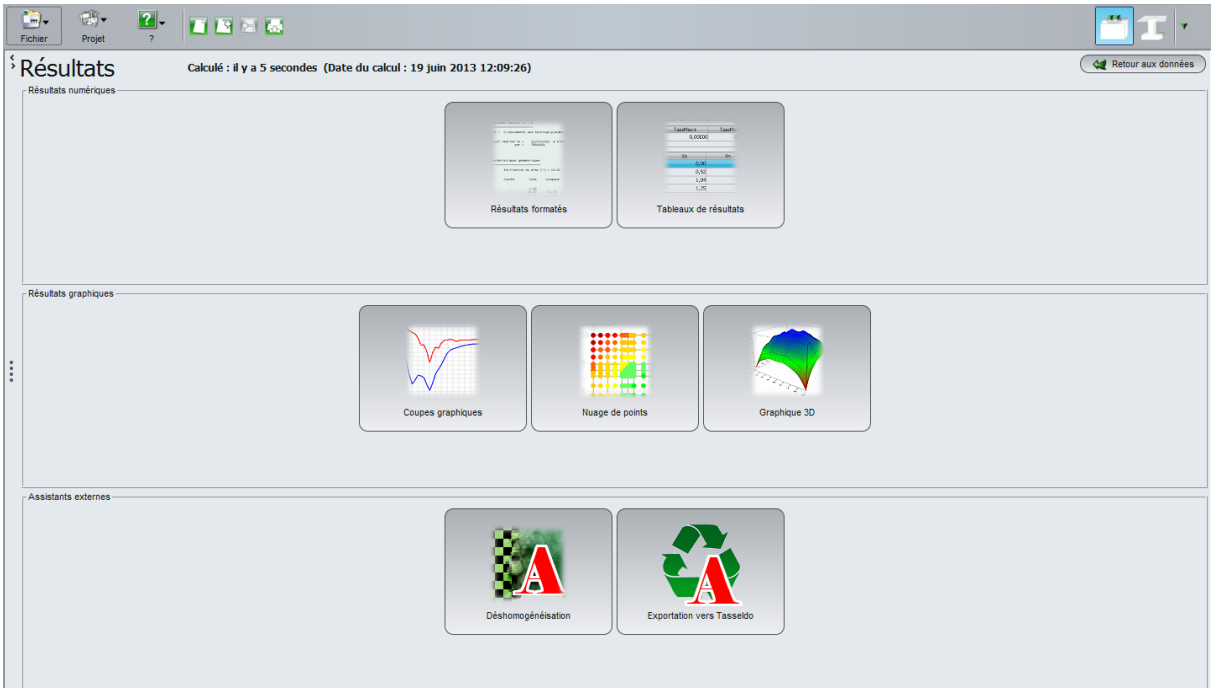
J.4.2.1.9. Calcul et Résultats

Calcul

Cliquer sur le bouton Lancer le calcul.

Une fenêtre permet de visualiser l'avancement du moteur de calcul. Cliquer sur le bouton Fermer pour fermer cette fenêtre à la fin du calcul.

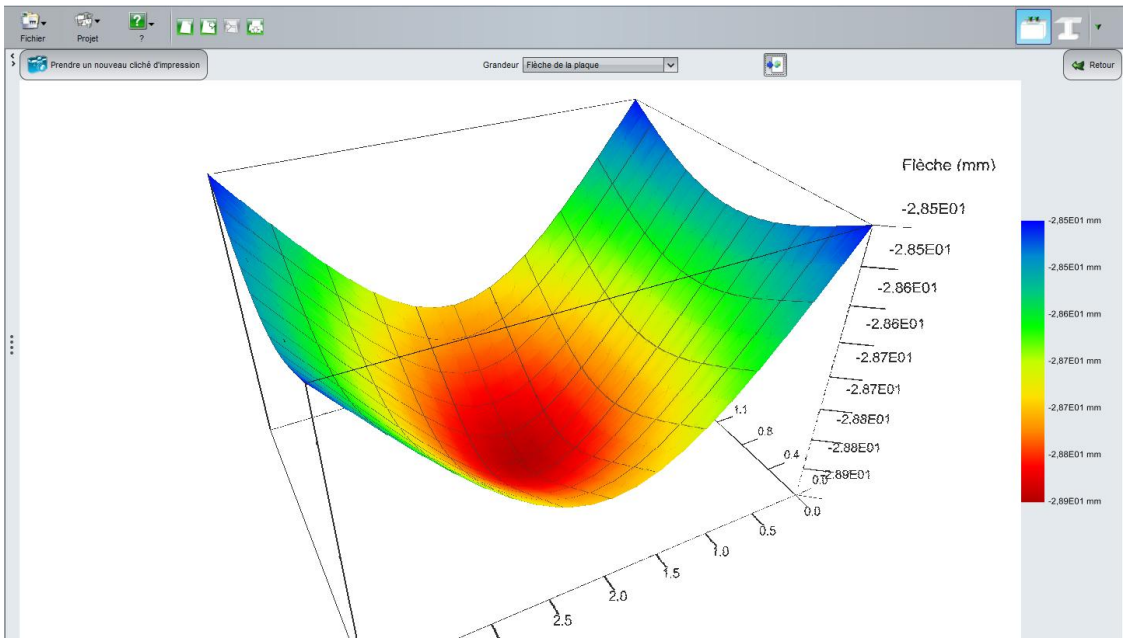
Pour accéder aux résultats sous forme de tableaux et de graphiques, cliquer sur le bouton Voir les résultats :



Résultats

Résultats graphiques

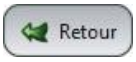
Cliquer sur le bouton "Graphiques 3D" : c'est par défaut la flèche de la plaque qui s'affiche :



La flèche maximale de la plaque (au centre) est de 2,9 cm.

La valeur minimale de la flèche (aux coins) est de 2,85 cm : le tassement de la plaque est donc quasi uniforme sur l'ensemble de la plaque (semelle rigide).

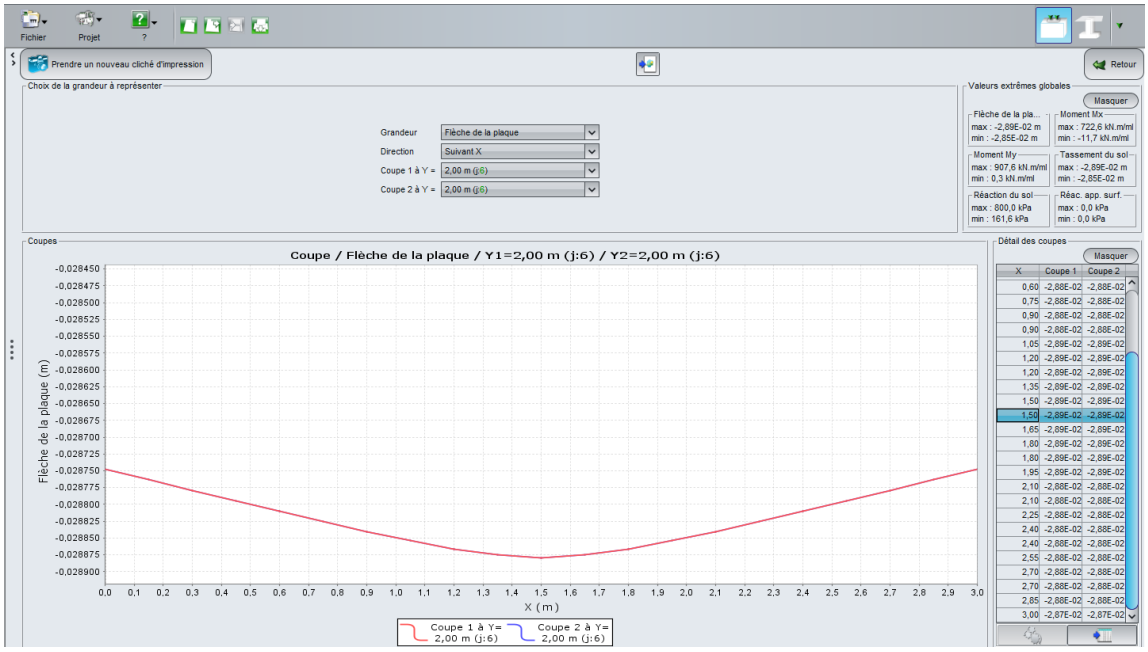
Nota : la flèche de la plaque et le tassement du sol sont identiques pour cet exemple (pas de soulèvement).

Cliquer sur le bouton 

et cliquer sur le bouton "Coupe graphique".

Coupe « flèche de la plaque » suivant X avec :

Coupe 1 (et 2) à Y = 2,00 m (j : 6) : Flèche max de 2,9 cm en X = 1,50 m

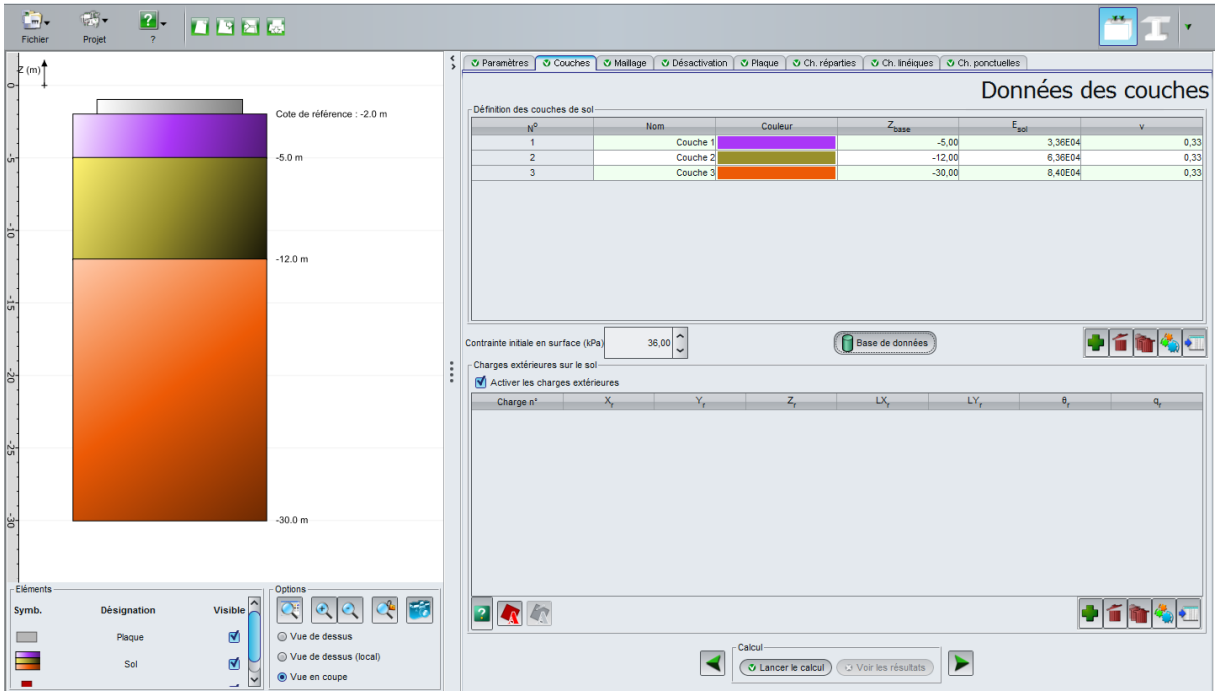


Cette coupe confirme les observations précédentes : flèche quasiment uniforme, avec une valeur maximale au centre de la plaque de 2,9 cm.

Le tassement obtenu dans le module Tasplaq est environ 2,1 fois plus élevé que celui calculé précédemment par Fondsup. La méthode pressiométrique utilisée dans Fondsup est une méthode empirique, éprouvée et qui donne des résultats en très bon accord avec les tassements effectivement observés. Nous allons donc ajuster les modules de sol E de manière à obtenir l'égalité des tassements entre les méthodes élastique (Tasplaq) et pressiométrique (Fondsup). On choisit pour cela k = 2,1 ($E = 2,1 \times E_M/\alpha$).

J.4.2.1.10. Ajustement des modules du sol

Onglet "Couches"



Les données à saisir (valeurs de module modifiées) sont les suivantes :

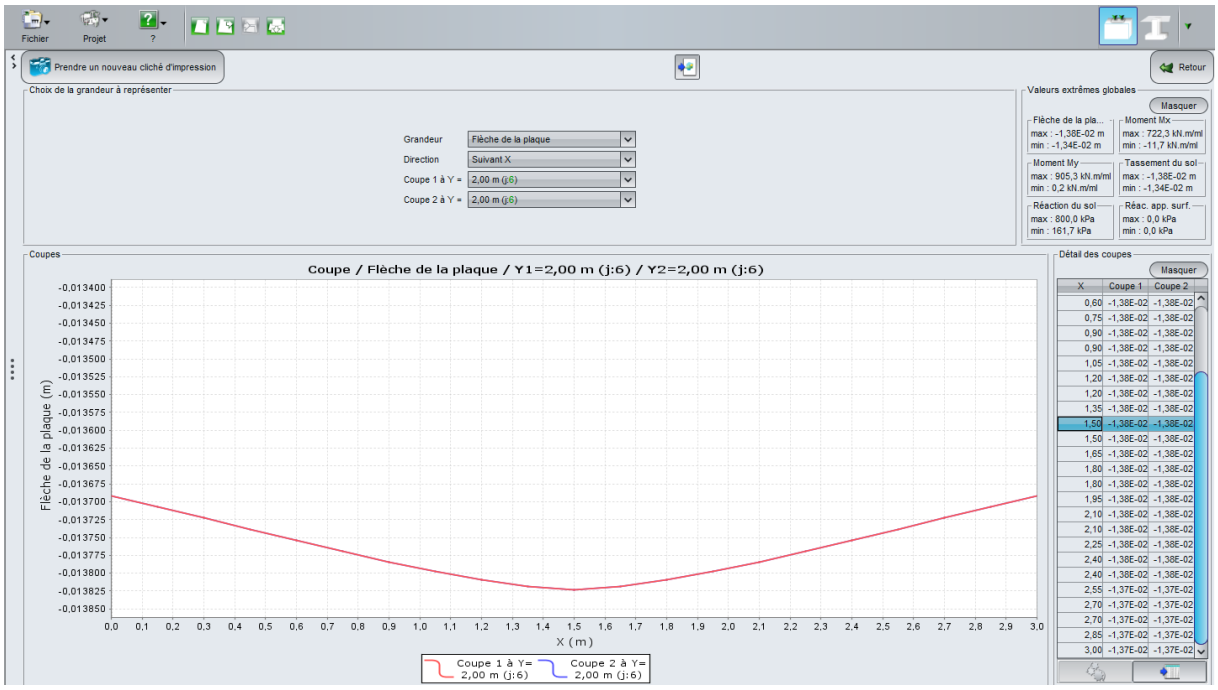
Nom	**Z_{base}** (m)	**E_{sol} (kPa)**	**ν**
Couche 1	-5,0	**3,36E+04**	0,33
Couche 2	-12,0	**6,36E+04**	0,33
Couche 3	-30,0	**8,40E+04**	0,33

Cliquer à nouveau sur le bouton

pour lancer le calcul puis sur

pour voir les résultats.

Cette fois, le tassement obtenu (1,38 cm) est très proche de celui obtenu avec Fondsup dans la première étape.



Enregistrer votre projet sous un nom différent avant de continuer.

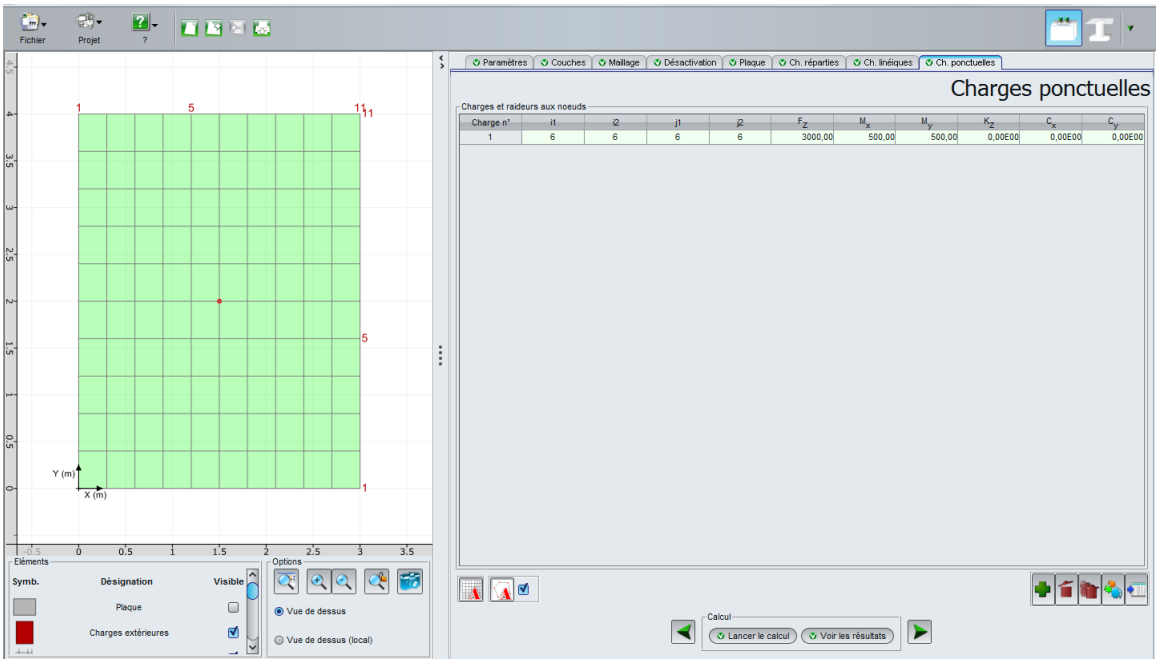
J.4.2.2. Calcul sous chargement ELS-CARAC

Sous combinaison ELS-CARAC, la semelle est soumise, en plus d'un effort vertical de 3000 kN, à deux moments de flexion M_x = 500 kN.m et M_y = 500 kN.m.

J.4.2.2.1. Onglet "Charges ponctuelles"

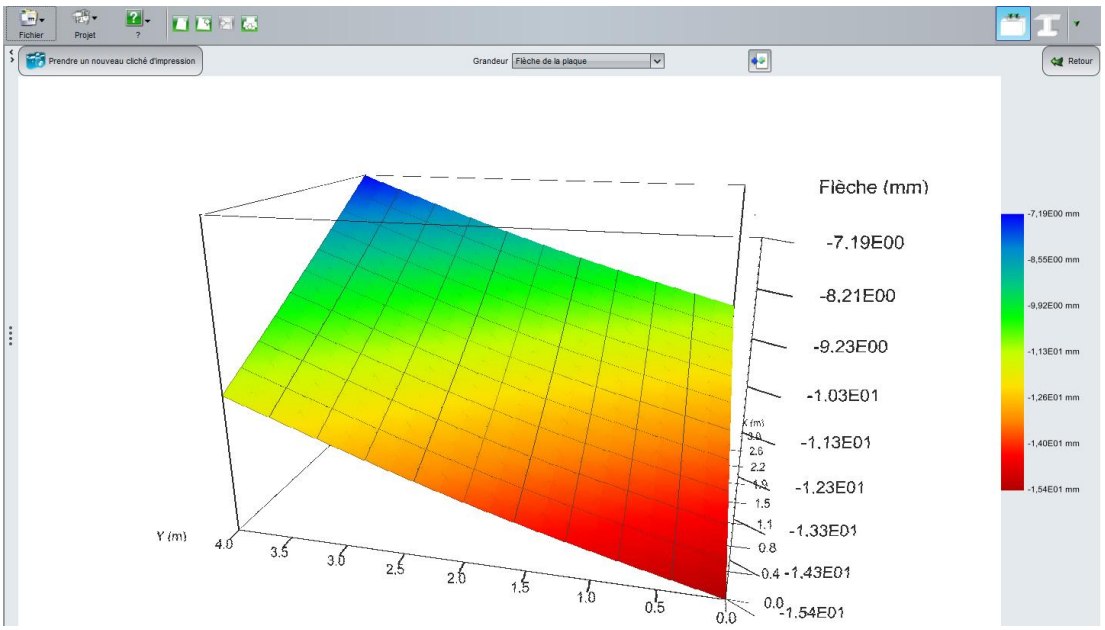
Comme indiqué dans l'impression d'écran ci-dessous, modifier la définition de la charge ponctuelle avec les valeurs suivantes :

- F_z = 3000 kN
- M_x (moment autour de l'axe –Oy) = 500 kN.m
- M_y (moment autour de l'axe Ox) = 500 kN.m



J.4.2.2.2. Calcul et résultats

<u>Résultats graphiques 3D - Flèche de la plaque</u>



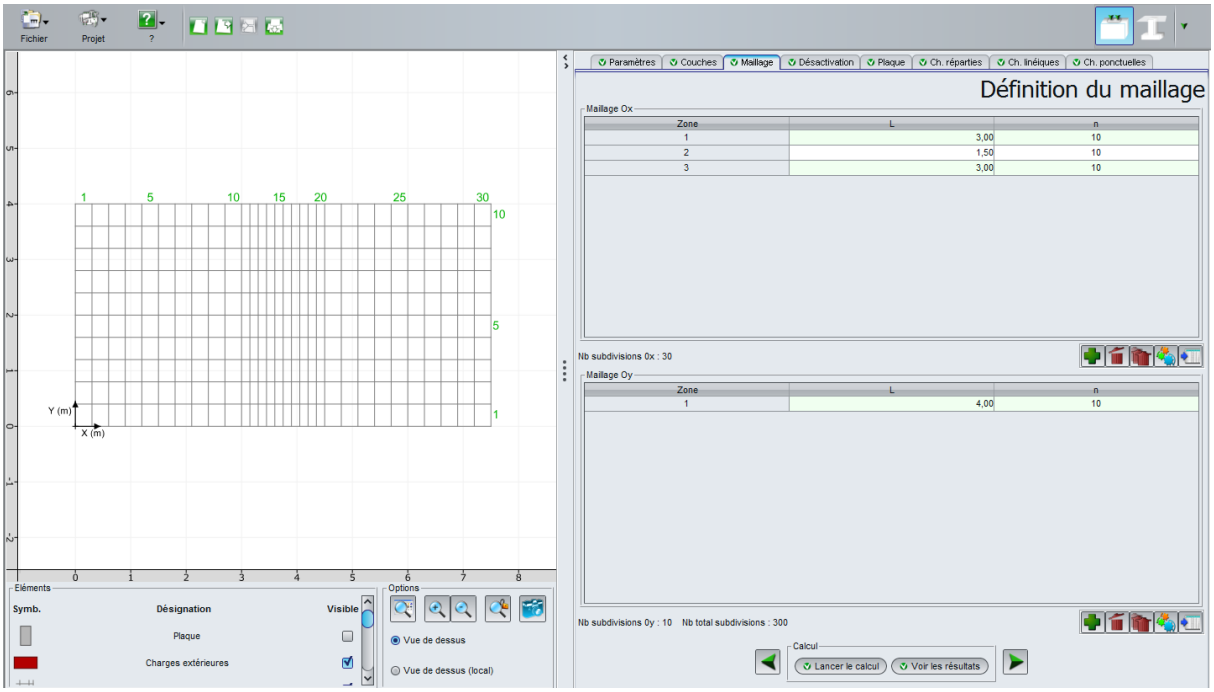
On observe cette fois un basculement de la semelle, avec un tassement maximal dans le coin le plus "chargé par les moments" de 1,54 cm, et un tassement minimal dans le coin opposé de 0,72 cm. La plaque se comporte comme un bloc rigide.

Enregistrer à nouveau votre ficher sous un nom différent avant de continuer.

J.4.2.3. Interaction entre deux semelles voisines

Nous allons maintenant étudier l'interaction entre deux semelles identiques voisines, séparées par une distance de 1,5 m. Pour ceci, nous allons étendre le maillage en X, pour y intégrer la plaque représentative de la seconde semelle, puis désactiver la partie centrale correspondant à la distance entre les 2 semelles.

J.4.2.3.1. Onglet "Maillage"



Cadre "Maillage selon O_x"

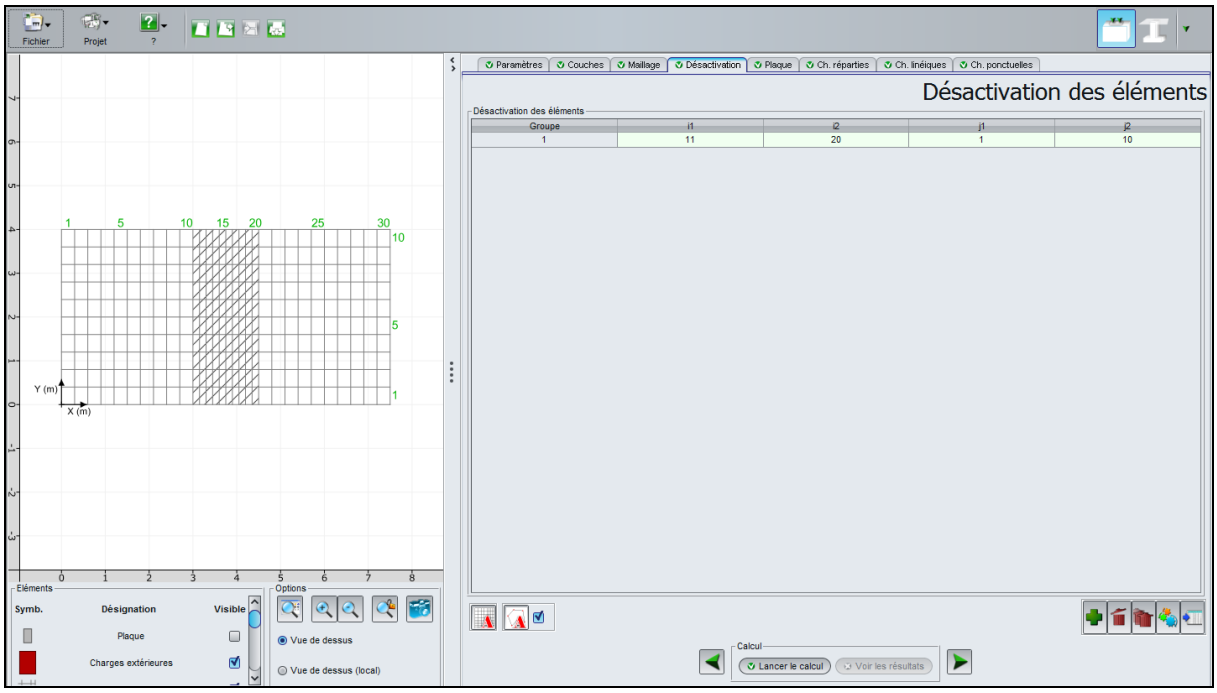
Il est étendu, comme indiqué ci-dessus : il faut définir une zone supplémentaire correspondant à la distance entre les 2 semelles, et une 3ème zone correspondant à la 2ème semelle.

Zone	L (m)	n
1	3,00	10
2	**1,50**	**10**
3	**3,00**	**10**

Cadre "Maillage selon O_y"

Il est inchangé.

J.4.2.3.2. Onglet "Désactivation"



Cadre "Désactivation des éléments"

Les données à saisir sont les suivantes :

- le numéro selon Ox de l'élément à désactiver le plus à gauche de la zone i1
- le numéro selon Ox de l'élément à désactiver le plus à droite de la zone i2
- le numéro selon Oy de l'élément à désactiver le plus bas de la zone j1
- le numéro selon Oy de l'élément à désactiver le plus haut de la zone j2

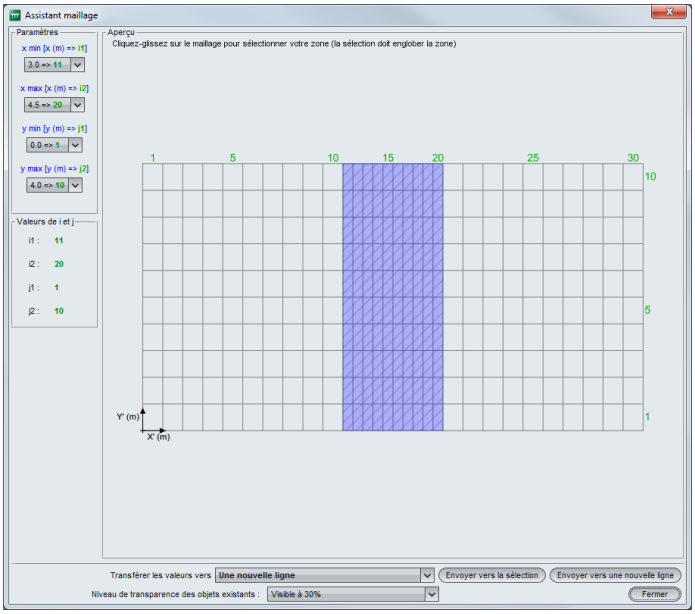
Groupe	i1	i2	j1	j2
1	11	20	1	10

Pour faciliter la saisie de la géométrie de la zone désactivée, on peut utiliser l'assistant maillage en cliquant sur le bouton "Assistant maillage" .

- dans le cadre "Paramètres", saisir les dimensions/indices de la zone à désactiver en utilisant les listes déroulantes, ou dans le cadre "Aperçu", cliquer-glisser la souris pour sélectionner la zone dans son intégralité ;
- en bas de la fenêtre, transférer les valeurs vers "Une nouvelle ligne" puis cliquer sur le bouton

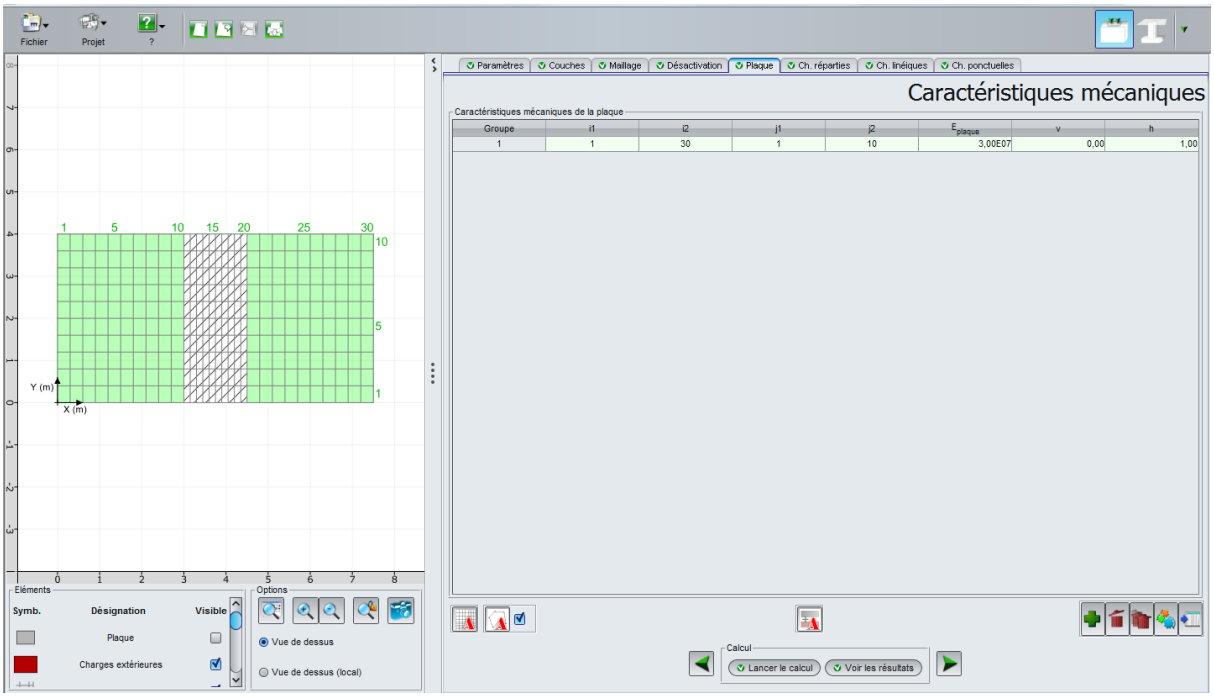
pour apporter les valeurs dans le projet ;
- cliquer sur le bouton

pour quitter la fenêtre de l'assistant.



J.4.2.3.3. Onglet "Plaque"

Sachant que les caractéristiques ne s'appliqueront qu'aux zones activées, et que les deux semelles ont les mêmes caractéristiques, il suffit de définir une zone couvrant l'ensemble du nouveau modèle à laquelle on affecte les mêmes propriétés que précédemment pour la semelle unique : on modifie donc simplement l'indice i2 de manière à couvrir l'ensemble du nouveau maillage.

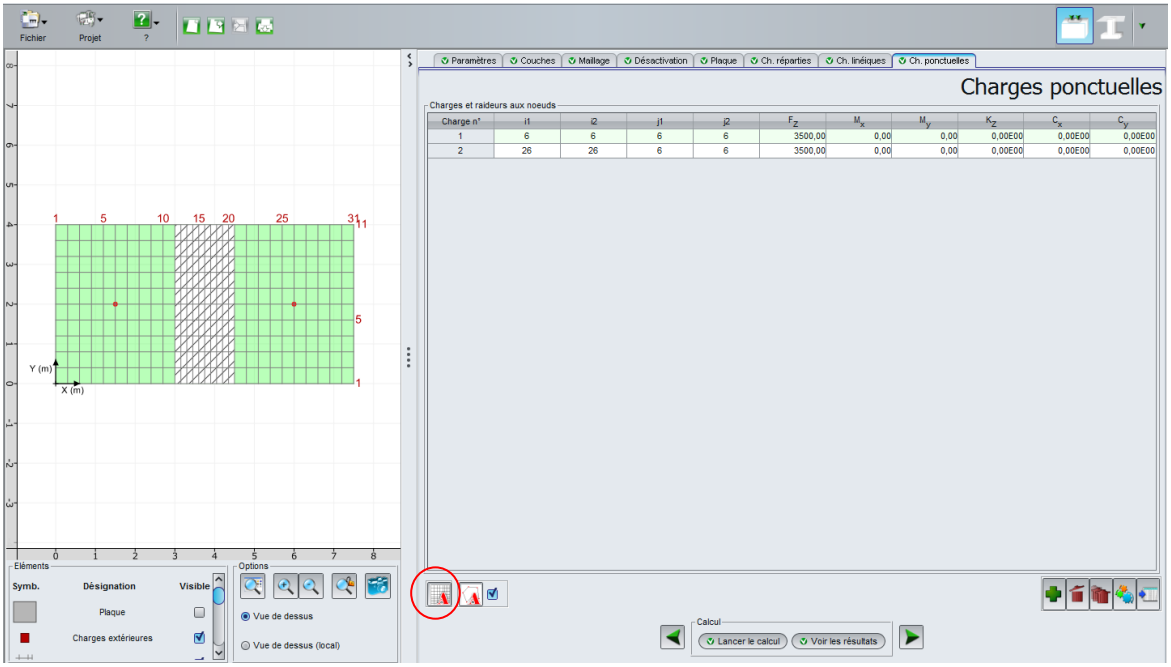


Cadre "Caractéristiques mécaniques de la plaque" :

Groupe	**i1**	**i2**	**j1**	**j2**	**E_{plaque}** (kPa)	**ν**	**H (m)**
1	1	**30**	1	10	3,00E+07	0,00	1,00

J.4.2.3.4. Onglet "Charges ponctuelles"

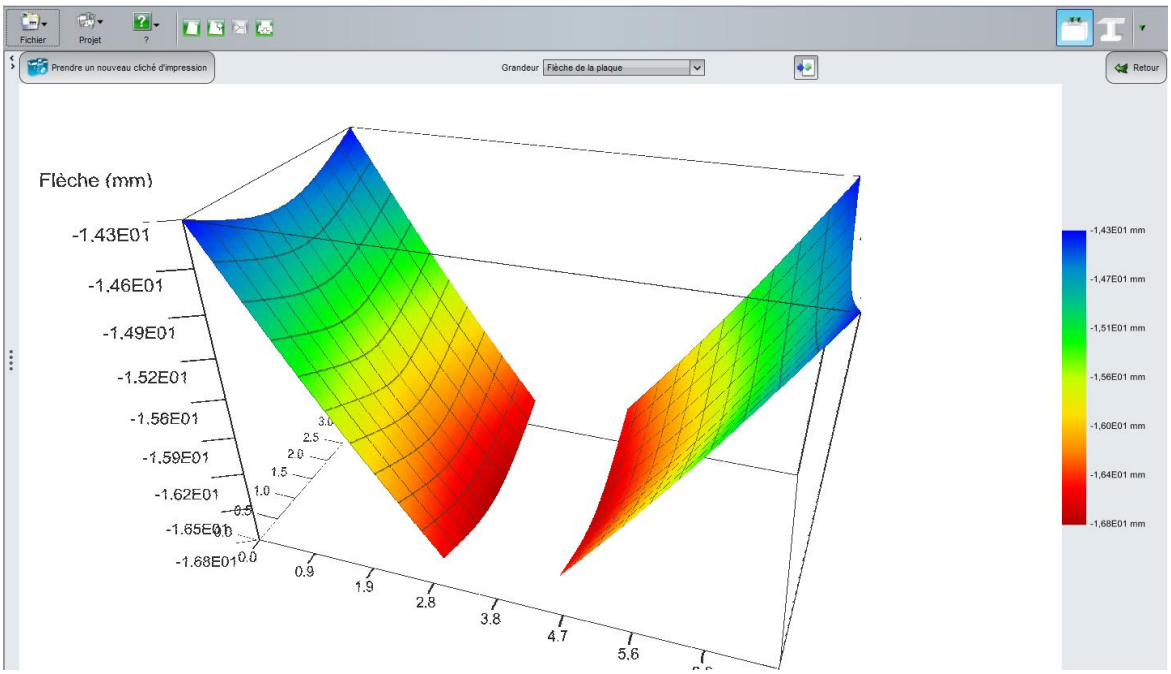
On reprend ici le chargement ELS-QP (Fz = 3500 kN), appliqué au centre de chacune des 2 semelles : i1 = i2 = 6 pour la semelle de gauche, et i1 = i2 = 26 pour la semelle de droite (vous pouvez sinon utiliser l'assistant disponible en bas de la fenêtre de saisie, cf encadré rouge ci-dessous).



Charge n°	i1	i2	j1	j2	F_z
1	6	6	6	6	3500 kN
2	26	26	6	6	3500 kN

J.4.2.3.5. Calcul et résultats

<u>Résultats graphiques 3D – Flèche de la plaque</u>



Le modèle est symétrique et se comporte comme tel.

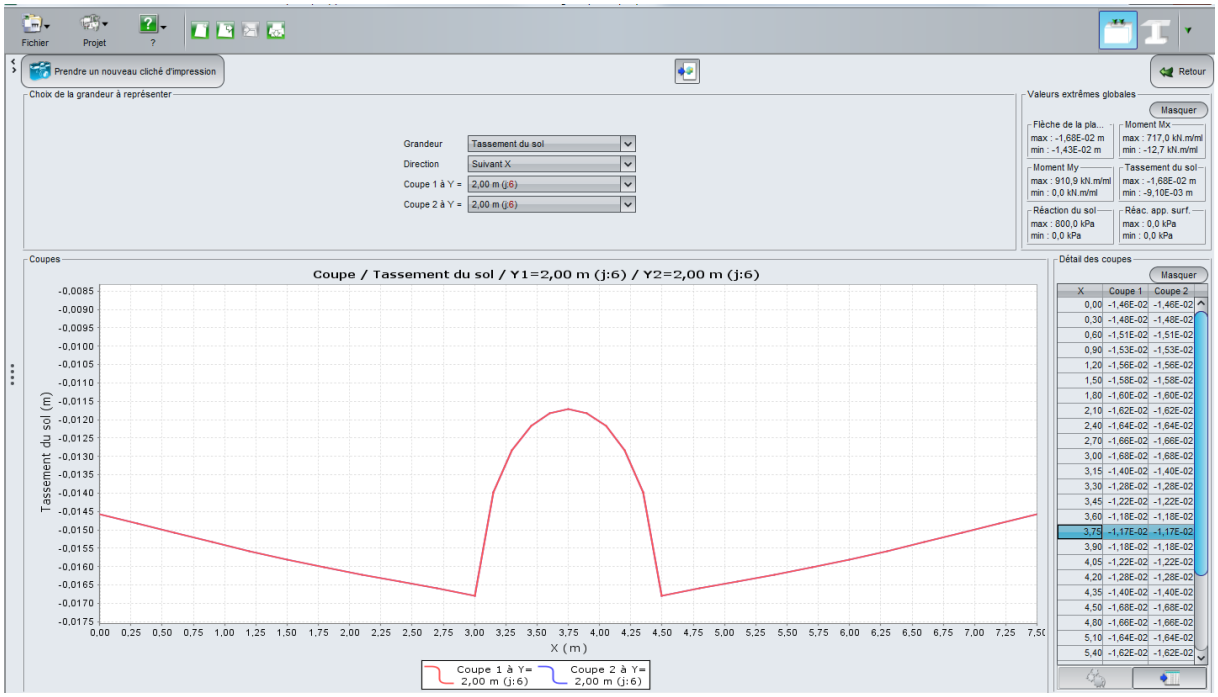
Chaque semelle bascule vers la zone centrale (sous l'effet de son propre chargement et du chargement de la plaque voisine). Un tel comportement n'aurait pas pu être obtenu avec un modèle « sur ressorts ».

La flèche maximale de chaque semelle (du côté le plus proche de l'autre plaque) est de 1,68 cm. La flèche minimale de chaque semelle (du côté "extérieur") est de 1,43 cm.

La zone entre les 2 plaques n'apparaît pas sur l'affiche 3D de la flèche de la plaque car la plaque a justement été désactivée dans la zone centrale.

<u>Coupes graphiques – Tassement du sol</u>

Coupe 1 (et 2) suivant X à Y = 2,00 m (j : 6) : Tassement de 1,17 cm en X = 3,75 m



On note que le tassement différentiel de chaque semelle (de bord à bord) est de 0,22 cm, soit moins de 0,1%, ce qui est acceptable.

Nota : le tassement du sol est affiché de manière continue, même pour la zone où la plaque a été désactivée. On voit d'ailleurs nettement l'empreinte de chaque semelle.